

LEONARDO KEITI TOYAMA UEMATSU  
RENATA CRISTINA BORGES MONTAGNINI

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA COLETA  
DE EMBALAGENS RECICLÁVEIS**

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para obtenção de título em  
Engenharia Mecatrônica

São Paulo

2012



LEONARDO KEITI TOYAMA UEMATSU  
RENATA CRISTINA BORGES MONTAGNINI

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA COLETA  
DE EMBALAGENS RECICLÁVEIS**

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para obtenção de título em  
Engenharia Mecatrônica

Área de concentração:  
Engenharia Mecatrônica

Orientador:  
Prof. Dr. Marcos Ribeiro Pereira Barretto

São Paulo

2012

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Uematsu, Leonardo Keiti Toyama**

**Projeto e construção de uma máquina automática para coleta**

**de embalagens recicláveis / L.K.T. Uematsu, R.C.B. Montagnini.**

**-- São Paulo, 2012.**

**120 p.**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.**

**1. Embalagens 2. Reciclagem de resíduos urbanos 3. Maquinas elétricas I. Montagnini, Renata Cristina Borges II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica III. t.**

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer inicialmente à professora Larissa Driemeier que nos incentivou a levar a idéia deste trabalho adiante e concretizá-lo.

Agradeço também aos técnicos da oficina por toda ajuda e suporte dada, possibilitando a construção do nosso protótipo.

Gostaria de agradecer ao professor Marcos Barretto por orientar nosso projeto.

Sou grato principalmente à minha família que me apoiou durante todo este ano de trabalho.

Dou meus votos de gratidão, por fim, à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e à Technische Universität Darmstadt pela excelente formação e pelas oportunidades me proporcionadas durante meus estudos.

Leonardo Keiti Toyama Uematsu



## **Agradecimentos**

Primeiramente gostaria de agradecer à Prof. Dra. Larissa Driemeier, por ter sido a primeira a acreditar neste projeto. Também sou muito grata ao meu colega Leonardo Keiti Toyama Uematsu, por ter me convidado para ser sua parceira neste projeto e, por fim, ao Prof. Dr. Marcos Pereira Barretto, por ter aceitado ser o orientador deste trabalho, e ter nos atendido sempre com muita atenção.

Meu especial agradecimento ao meu pai Carlos e minha mãe Regina, que me incentivaram, apoiaram e foram meus companheiros durante toda minha graduação.

Por último, minha gratidão à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pelas oportunidades de aprendizado extra-curriculares, pelo programa de aproveitamento de créditos na Université Catholique de Louvain, e principalmente pela excelente formação acadêmica.

Renata Cristina Borges Montagnini





## RESUMO

Com a aprovação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos no ano de 2010, acredita-se que o próximo passo seja a criação de mais incentivos para o consumidor no descarte adequado do lixo reciclável. É com tal motivação que este trabalho propõe a criação de uma *Reverse Vending Machine* (RVM) para o mercado brasileiro. RVMs são máquinas responsáveis por receber embalagens de bebidas vazias, identificá-las conforme material, selecioná-las e armazená-las. Em países como Alemanha, Noruega e Suécia, por exemplo, o incentivo dado ao consumidor para que o descarte das embalagens seja feito em RVMs é a emissão de um ticket com o valor correspondente àquela embalagem retornada, o qual poderá ser apresentado no caixa do supermercado, ou qualquer outro estabelecimento comercial que possua a RVM, e descontado do valor da compra feita no local.

Devido ao grande volume de consumo e alta rotatividade de embalagens de bebidas feitas de material PET, alumínio e vidro, e visando aumentar a taxa de reciclagem no Brasil, por meio de incentivo, auxílio e automatização no processo de reciclagem, este trabalho tem por objetivo projetar e construir uma RVM que se adapte ao mercado consumidor brasileiro, isto é, uma máquina com baixo custo de fabricação.

**Palavras-chave:** *Reverse Vending Machine*, reciclagem.



## **ABSTRACT**

With the approval of National Politics of Waste in 2010, one believe that the next step will be the creation of more incentives to the consumer.

According to this motivation, the present project proposes the construction of a Reverse Vending Machine to brazilian market. RVMs are machines responsible to receive empty beverage containers, identify by material, select and store them. In some countries like USA, Germany and Belgium, for example, the incentive given to the consumer to encourage them to return beverages containers to the RVMs is based on tickets with the corresponding value of that container returned. Once presented on the cashier, the value of the ticked might be discounted from the total or be returned in cash to the customer.

Due to the high volume of consumption and circulation of beverages containers made of PET, aluminum and glass, and in order to increase the recycling rate in Brazil, by means of incentive, assistance and automation in the process of recycling, the goal of this work is to project and build a RVM adapted to the Brazilian consumer market.

**Keywords:** Reverse Vending Machine, Recycling



## SUMÁRIO

Introdução .....	1
1.1 Motivação .....	1
1.2 Objetivo .....	2
1.3 Estrutura .....	2
Revisão Bibliográfica .....	3
2.1 Cenário Brasileiro de Reciclagem Atual .....	3
2.2 Sistema de coleta seletiva em países desenvolvidos .....	7
2.3 O mercado de Reverse Vending Machines .....	9
2.4 Soluções existentes de RVMs .....	10
2.5 Análise de Confiabilidade .....	12
2.5.1 Análise da Árvore de Falhas .....	13
Métodos e meios .....	14
3.1 Metodologias de Projeto Empregadas .....	14
3.2 Requisitos Direcionadores .....	16
3.3 Seleção de alternativa .....	17
3.3.1 Solução 1 .....	17
3.3.2 Solução 2 .....	18
3.3.3 Solução 3 .....	19
3.3.4 Matriz de Decisão .....	21
3.4 Projeto Básico .....	22
3.4.1 Projeto Mecânico .....	22
3.4.2 Projeto Elétrico .....	35
3.4.3 Projeto de Software .....	46
3.5 Revisão de Projeto .....	50
3.5.1 Projeto Mecânico Revisado .....	50
3.5.2 Projeto Elétrico Revisado .....	56
3.5.3 Projeto de Software Revisado .....	59

Resultados .....	61
4.1 Protótipo .....	61
4.2 Parte Funcional .....	61
4.3 Parte Estética .....	61
4.4 Construção do protótipo.....	62
4.5 Validação do protótipo .....	65
4.6 Análises de Confiabilidade.....	66
Conclusões .....	67
Apêndice A – Análise da Árvore de Falhas .....	68
Anexo A – Código Fonte da Programação em Arduino .....	71
Anexo B – Desenho de Fabricação dos Principais Componentes .....	81
Referências .....	94

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1: Uma solução em Reverse Vending Machine da fabricante Tomra [13]</b> .....	<b>9</b>
<b>Figura 2: RVM da marca Repant com sistema de esteiras que destinam as embalagens para centrais de recolhimento moldadas conforme as necessidades do estabelecimento em que se instalará a máquina [21]</b> .....	<b>10</b>
<b>Figura 3: Exemplo de RVM da marca reVend Global 101 com armazenagem interna de embalagens retornadas [20]</b> .....	<b>11</b>
<b>Figura 4: Sistema de identificação por imagem de uma RVM da marca norueguesa Tomra [15]</b> .....	<b>11</b>
<b>Figura 5: (1) Recebimento da embalagem pelo sistema com ajuda das esteiras; (2) Acionamento dos cilindros para movimentação da embalagem; (3) Acionamento das esteiras que encaminham a embalagem para o fundo do compartimento</b> .....	<b>12</b>
<b>Figura 6: Modelo em Espiral do projeto da RVM</b> .....	<b>15</b>
<b>Figura 7: Primeira solução mecânica proposta</b> .....	<b>18</b>
<b>Figura 8: Segunda solução mecânica proposta</b> .....	<b>19</b>
<b>Figura 9: Terceira solução mecânica proposta</b> .....	<b>20</b>
<b>Figura 10: Dimensões a serem consideradas das embalagens</b> .....	<b>22</b>
<b>Figura 11: Dimensionamento da abertura interna do cilindro</b> .....	<b>24</b>
<b>Figura 12: Variáveis para cálculo da rotação mínima do cilindro girante</b> .....	<b>25</b>
<b>Figura 13: Posição ideal para um leitor de códigos de barras com direção única de leitura</b> .....	<b>27</b>
<b>Figura 14: Posição de um leitor de código de barras omnidirecional</b> .....	<b>28</b>
<b>Figura 15: Posição de descarte do alumínio</b> .....	<b>29</b>
<b>Figura 16: Posição de descarte do PET</b> .....	<b>30</b>
<b>Figura 17: Posição de descarte do vidro</b> .....	<b>30</b>
<b>Figura 18: Posição de descarte das embalagens não válidas ou não reconhecidas</b> ....	<b>31</b>
<b>Figura 19: Vista da RVM fechada</b> .....	<b>33</b>
<b>Figura 20: Vista da RVM aberta</b> .....	<b>33</b>
<b>Figura 21: Detalhe do cilindro girante e do motor acoplado</b> .....	<b>33</b>
<b>Figura 22: Detalhe do cilindro e posições de descarte das embalagens</b> .....	<b>34</b>
<b>Figura 23: Detalhe da abertura e porta do cilindro</b> .....	<b>34</b>
<b>Figura 24: Arduino Mega</b> .....	<b>35</b>
<b>Figura 25: Diagrama de forças atuantes no sistema</b> .....	<b>38</b>
<b>Figura 26 : Esquema da ligação elétrica do motor de passo</b> .....	<b>39</b>
<b>Figura 27: Tela LCD 16X02 HD44780</b> .....	<b>39</b>

<b>Figura 28: Esquema da ligação elétrica da tela LCD .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 29: Esquema de ligação elétrica dos solenóides.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 30: Esquema de ligação elétrica do sensor de segurança.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 31: Região que o sensor óptico deve abranger .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 32: Esquema de ligação elétrica do botão "Finalizar" .....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 33: Esquema de ligação elétrica da impressora térmica.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 34: Circuito elétrico completo da RVM .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 35: Diagrama de Casos de Uso .....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 36: Diagrama de Componentes.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 37: Diagrama de Estados.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 38: 1- Posição de referência; 2- posição limite de rotação; 3- Posição de recebimento de embalagem.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 39: 1- Descarte do PET; 2- Descarte do Alumínio; 3- Devolução; 4- Descarte do vidro.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 40: Diagrama de Estados detalhado .....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 41: Projeto mecânico revisado de descarte das embalagens após reconhecimento .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 42: Variáveis de cálculo para abertura do cilindro .....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 43: Variáveis de cálculo para tornar possível a revolução completa das embalagens.....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 44: Vista externa em CAD da RVM .....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 45: Vista interna da RVM .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 46: Sistema de acionamento .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 47: Detalhe do projeto mecânico da RVM .....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 48: Circuito utilizado para acionamento do motor .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 49: Circuito elétrico da RVM revisado .....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 50: Espaço de estados revisado .....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 51: Vista do conjunto inteiro .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 52: Vista focada no acionamento e acoplamento .....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 53: Detalhes do cilindro e suas aberturas.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 54: Posicionamento da embalagem.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 55: Placa com Arduino acoplado ao USB Host Shield e circuito de potência ...</b>	<b>64</b>
<b>Figura 56: Parte externa com interface .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 57: Display LCD com diferentes informações para o usuário .....</b>	<b>65</b>



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1: Matriz de Decisão para Solução Mecânica .....</b>	<b>21</b>
<b>Tabela 2: Dimensões das garrafas PET .....</b>	<b>23</b>
<b>Tabela 3: Dimensões das garrafas de alumínio.....</b>	<b>23</b>
<b>Tabela 4: Dimensões das garrafas de vidro.....</b>	<b>23</b>
<b>Tabela 5: Momentos de inércia para dimensionamento do motor .....</b>	<b>37</b>



# Capítulo 1

## Introdução

O ritmo acelerado de crescimento dos centros urbanos, no Brasil e mundo, traz também o aumento do volume de lixo gerado por seus habitantes, consumidores cada vez mais fiéis aos produtos industrializados. No mundo ocidental, a estimativa é que uma pessoa produza 500 quilos de resíduos urbanos por ano. No Brasil, o número é de 378 quilos, e esta quantidade só tende a aumentar, uma vez que quanto mais desenvolvido é um país, mais resíduos ele gera e, portanto, junto com o crescimento acelerado da economia brasileira, haverá também aumento inevitável de lixo gerado [1].

Números recentes já demonstram tal crescimento. Em 2010, 61 milhões de toneladas de lixo foram produzidas pela população urbana do Brasil, aumento de 6,8% em relação a 2009. Todavia, o crescimento desta população no período foi de somente 1,15% [1].

É de vital importância social, econômica e ambiental, que o Brasil concentre sua atenção e esforços para um melhor destino e tratamento de seus detritos. Isto porque somente 1,4% de todo o lixo no Brasil é reciclado, enquanto em outros países como Estados Unidos a relação é de 34%, e na União Européia, de quase metade (45%) [1]. Altas taxas de reciclagem nestes países são resultado de forte política de coleta seletiva, além de leis que regulamentam o destino de certos materiais, como na Alemanha, onde desde 1991 o país possui uma lei de regulamentação para empresas produtoras de materiais para embalagem, que passaram a ser responsáveis pela coleta e disposição final dos mesmos [2]. No Brasil, semelhante regulamentação foi aprovada somente em 2010 através da criação da lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que, dentre outros, determina que fabricantes, importadores, distribuidores e vendedores realizem o recolhimento de embalagens usadas. A PNRS deverá entrar em vigor até 2014 [3].

### 1.1 Motivação

Devido à grande geração de resíduos por parte do mercado de bebidas, em conjunto com a crescente preocupação ambiental, foram criadas as Reverse Vending Machines (RVM). RVMs são máquinas responsáveis por receber embalagens vazias, identificá-las conforme tipo (formato, material), selecioná-las e armazená-las. Na maioria dos casos existe alguma

forma de incentivo ao consumidor para que este retorne as embalagens. Tais máquinas são bem populares em países nos quais políticas rígidas de reciclagem estão em rigor, como por exemplo a Alemanha.

Na Alemanha, o sistema funciona de tal forma que o comprador ao adquirir uma garrafa de água, por exemplo, paga ao estabelecimento o valor da água em si e também da embalagem. O valor de cada embalagem depende principalmente do material utilizado, podendo variar de 0,09€ (garrafa de vidro) a até 0,25€ (caso da garrafa de PET e latinha de alumínio).

O método incentiva a devolução de recipientes, e contribui diretamente para a reciclagem e reutilização dos mesmos, reduzindo assim o despejo inadequado de resíduos.

## **1.2 Objetivo**

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma RVM de baixo custo de fabricação, adequando às necessidades do cenário brasileiro atual, com foco na diminuição da quantidade de acionamentos necessários para o funcionamento da máquina. Mais especificamente, se dará foco à detecção e separação das embalagens por material. Ela deverá ser capaz de reconhecer as seguintes embalagens: garrafas PET, latas de alumínio e garrafas de vidro. As garrafas de vidro deverão ser separadas e reservadas a fim de se preservar a integridade das garrafas retornáveis e incentivar assim a sua reutilização. As embalagens de alumínio e PET serão separadas de acordo com material visando também à reciclagem. Por fim, as embalagens que não foram identificadas como retornáveis deverão ser devolvidas ao usuário.

## **1.3 Estrutura**

Para melhor entender a estrutura de reciclagem atual do Brasil, bem como compará-la ao de outros países, no capítulo 2 desta monografia apresenta-se revisão bibliográfica realizada. Neste capítulo também se encontram os estudos sobre as RVMs existentes no mercado, bem como modelos de estrutura de projeto que serão empregados neste trabalho.

No capítulo 3 encontram-se as soluções encontradas, assim como os projetos mecânico, elétrico e de software da RVM proposta neste trabalho de conclusão de curso.

Por fim, no capítulo 4 apresentam-se os resultados finais obtidos, por meio da construção de um protótipo e sua análise de confiabilidade.

## Capítulo 2

### Revisão Bibliográfica

Neste capítulo serão considerados alguns conceitos importantes adquiridos a partir da revisão da literatura das referências deste trabalho.

#### 2.1 Cenário Brasileiro de Reciclagem Atual

Para se determinar os pontos críticos do atual cenário brasileiro a serem focados, realizou-se um estudo dos principais resíduos, considerando apenas recipientes de bebidas, uma vez que estes possuem maior rotatividade, e consequentemente são responsáveis por grande parte da geração de lixo doméstico.

##### 2.1.1 Garrafas PET

O Brasil consumiu 505.000 toneladas de resina PET (Politereftalato de Etileno) na fabricação de embalagens em 2010 [4]. O material, que é um poliéster termoplástico, tem como características a leveza, a resistência e a transparência, ideais para satisfazer a demanda do consumo doméstico de refrigerantes, água e de outros produtos, como artigos de limpeza e comestíveis em geral. Contudo, apesar da grande rotatividade desse tipo de garrafa, somente 55% do material foi reciclado em 2010 [5].

A reciclagem de PET já é um setor importante da economia brasileira. Em 2009, o setor movimentou 1,1 bilhão de reais, com grande peso da indústria têxtil neste processo, que utiliza o PET reciclado na fabricação de cordas e fios de costura e carpetes [1]. Além disso, o PET reciclado está presente também em novas garrafas para produtos não alimentícios, já que para esta aplicação, ainda não há permissão por parte da Associação Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Outra vantagem de se reciclar PET, é que o consumo de energia é somente 0.3% daquela total necessária para a produção da resina virgem, além da vantagem de poder ser reciclado várias vezes sem prejudicar a qualidade do produto final [5].

Se por um lado o Brasil é o segundo país que mais recicla garrafas de plástico, atrás somente do Japão, onde a taxa é de 78% [5], por outro lado a alta taxa de reciclagem de

plástico brasileiro não reflete a conscientização da população, nem eficiência do sistema de coleta seletiva, mas sim um alto número de catadores informais, que vêm na coleta de lixo sua fonte de renda [1]. O quilo do PET pago aos catadores no Brasil atualmente varia de oitenta centavos (R\$0,80) a um real e dez centavos (R\$1,10). As cooperativas recebem o material e separam os volumes coletados de acordo com cor, conteúdo (refrigerante, água, óleo comestível etc) e origem (coleta seletiva, lixões, etc). Esta última de grande importância devido à contaminação que o material reciclável se expõe quando vai para lixões [4].

Então, após separação, o material é prensado e amarrado em fardos, que serão vendidos às empresas que possuem máquinas e processo de reciclagem de PET. O fardo será mais valorizado se contiver somente PET, as garrafas forem de uma única cor, as garrafas de óleo, maioneses e outros conteúdos oleosos estiverem separadas das demais, a embalagem vier de coleta seletiva, o fardo tiver a maior densidade possível e for fechado com rafia e amarrado com fitas de arquear plásticas (o PET reciclado também é utilizado na produção deste tipo de produto).

A etapa seguinte da cadeia de reciclagem do PET é a sua revalorização, que contém as etapas seguintes [4]:

1. Os fardos de garrafa entram na plataforma onde serão desfeitos.
2. Após este procedimento as garrafas são colocadas na esteira de alimentação da peneira rotativa.
3. Na peneira é feita a primeira etapa de lavagem das garrafas.
4. São retirados os contaminantes maiores (pedras, tampas soltas, etc) que podem ter aderido às garrafas. As garrafas passam então para a esteira de seleção.
5. Na esteira de seleção é monitorada a presença de outros materiais (ex.: PVC, PP, PE), inclusive os metais que são acusados pelo detector adequado. As garrafas caem na esteira de alimentação do moinho.
6. O material moído é retirado e parte da água suja é separada do processo.
7. Passa pelos tanques de separação, onde além de ser feita a separação dos rótulos e tampas poderá ser feita a adição de produtos químicos para beneficiamento do processo.
8. Após os tanques o material é introduzido em outro moinho até obter a granulometria adequada.

9. O material é transportado pneumaticamente até lavador, onde é feito o enxague, saindo diretamente para o secador.

10. O material é retirado do secador por um transporte pneumático indo para o silo, passa por detector de metais não ferrosos (ideal), de onde é retirado e colocado em big-bags (sacolas de aproximadamente 1m<sup>3</sup>) estando pronto para ser enviado à indústria de transformação.

### **2.1.2 Garrafas de vidro**

De um total de 850 toneladas por ano de embalagens de vidro, 46% são recicladas no Brasil somando 390 mil ton/ano. Desse total, 40% são oriundos da indústria de envase, 40% do mercado difuso, 10% do "canal frio" (bares, restaurantes, etc) e 10% do refugo da indústria [6], Nos EUA, o índice de reciclagem gira em torno de 40%, correspondendo a 2,5 milhões de toneladas, na Suíça (92%), na Finlândia (91%), na Noruega e Bélgica (88%) [7].

As principais razões para a baixa taxa de reciclagem são duas. A primeira é o valor do material. O preço do vidro gira em torno de apenas R\$200 por tonelada, o que acaba por não despertar tanto interesse por parte dos catadores se comparado às latas de alumínio.

A segunda razão é devida à resistência por parte das envasadoras. Empresas como Nestlé, Unilever, P&G, Coca-Cola e AmBev resistem em pagar suas partes, como fazem nos EUA e na Europa [8].

Para "reciclar" uma tonelada de caco, a indústria paga hoje R\$260, sendo R\$120 aos catadores, R\$40 aos beneficiadores (limpeza), R\$80 ao frete (depende do local), R\$10 vão para campanhas de educação e R\$10 para custos administrativos dos gestores dessa logística [8].

Se processar matéria-prima virgem, o custo fica em R\$220. Para fechar a conta, a proposta é que os R\$ 40 restantes fiquem para os envasadores e para o governo, sob forma de incentivo fiscal [8].

O processo de reciclagem do vidro segue as seguintes etapas [7]:

1. Seleção: Uma das primeiras etapas no processo de reciclagem do vidro é sua separação por cores (âmbar, verde, translúcido e azul) e tipos (lisos, ondulados, vidros de janelas, de copos, etc). Esta separação é de extrema importância para a fabricação de novos objetos de vidro, pois garante suas características e qualidades.

2. Limpeza: O material passa por lavagem, onde impurezas mais leves como etiquetas e restos de bebida são removidas. Em seguida passa por uma segunda triagem para se retirar tampas e eventuais plásticos e papéis que por ventura ficaram.

3. Trituração: O material é triturado em pedaços menores afim de se facilitar o processo de derretimento e fabricação de novas garrafas

O processo de reciclagem mostra vantagens quando comparada a produção de vidro novo. Para cada 10% de “cacos” na composição da produção de vidro, atinge-se um ganho energético de 4% e uma redução em 5% na emissão de CO<sub>2</sub>. O uso de uma (1) tonelada de “cacos” implica também em uma economia de 1,2 toneladas de matérias-primas. Outra vantagem de reciclar o vidro é que evita-se que se jogue na natureza um produto que não é biodegradável [7].

Outra importante alternativa é a utilização de garrafas retornáveis. Algumas marcas já estão voltando ao antigo sistema dos “cascos” e oferecem produtos em tais embalagens. Em comparação com a garrafa PET que só pode ser usada uma vez, a garrafa retornável pode ser usada 20 vezes, o que faz com que a garrafa de vidro saia muito mais barata, mesmo considerando a logística e os custos com lavagem [7].

A volta do uso de garrafas retornáveis ainda é um fato recente e portanto o sistema ainda não está maduro, gerando pontos fracos na logística reversa.

### **2.1.3 Latinhas de alumínio**

As latas de alumínio são as embalagens de bebida com a maior taxa de reciclagem. Em 2010, o País reciclou 239,1 mil toneladas de sucata, o que corresponde a 17,7 bilhões de unidades, ou 48,5 milhões por dia ou 2 milhões por hora. Pelo décimo ano consecutivo, o país lidera a reciclagem de latas de alumínio para bebidas 97,6%, entre os países em que a atividade não é obrigatória por lei – como no Japão, que em 2010 reciclou 92,6% de latas; Argentina (91,1%) e Estados Unidos (58,1%) – e entre países europeus, cuja legislação sobre reciclagem de materiais é bastante rígida, e apresentaram um índice médio de 64,3% (dados de 2009) [9].

Tal sucesso tem base em dois fatos principais. O primeiro é o alto valor do alumínio comparado a outros materiais. O preço de venda das latas pode variar de R\$2,75 a R\$2,91 por quilograma, dependendo de seu estado, o que corresponde a cerca de 3 vezes o valor pago pelo PET e a mais de 10 vezes o valor do vidro. Tal cenário aliado à pobreza e à falta



de trabalho formal no Brasil, levam centenas de milhares de pessoas a adotar a atividade de catadores informais como principal fonte de renda [9].

A cadeia de reciclagem das latas de alumínio é composta pelas seguintes etapas [10]:

1. Prensagem: Neste estágio, as latas são prensadas novamente. Desta vez, em grandes fardos, como são chamados os “pacotes” volumosos e pesados, fáceis de serem transportados
2. Fundição: As latinhas são derretidas em fornos especiais para latas de alumínio
3. Lingotamento: Aqui todo o material é transportado em lingotes fundidos sob a forma de tiras, apropriadas para uma refusão ou transformação
4. Laminação: Os lingotes passam por um processo de deformação plástica no qual o material passa entre rolos e se transforma em bobinas de alumínio
5. Novas latas: As bobinas são usadas para fazer novas latinhas

Além dos benefícios socio-econômicos, o processo de reciclagem possui principalmente vantagens ambientais. Ele reduz o consumo e extração de matérias-primas, como bauxita e elementos de liga, e se comparado à produção de alumínio primário através da bauxita, o processo de reciclagem consome apenas 5% da energia elétrica e libera somente 5% das emissões de gás de efeito estufa. Ademais, a lata de alumínio é 100% reciclável e não há limitação na quantidade de vezes que pode sofrer o processo de reciclagem [11].

## **2.2 Sistema de coleta seletiva em países desenvolvidos**

Devido à grande geração de resíduos por parte do mercado de bebidas, resultado de sua alta rotatividade, em conjunto com a crescente preocupação ambiental, levaram à criação das *Reverse Vending Machines*. RVMs são máquinas responsáveis por receber embalagens vazias, identificá-las conforme tipo (formato, material), selecioná-las e armazená-las, na maioria dos casos existe alguma forma de incentivo ao consumidor para que este retorne as embalagens. Elas são bem populares em países nos quais políticas rígidas de reciclagem estão em rigor, como por exemplo, a Alemanha.

Na Alemanha, o sistema funciona de tal forma que o comprador ao adquirir uma garrafa de água, por exemplo, paga ao estabelecimento o valor da água em si e também da embalagem. O valor de cada embalagem depende principalmente do material utilizado,

podendo variar de 0,09€ (garrafa de vidro) a até 0,25€ (caso da garrafa de PET e latinha de alumínio) [2].

O comprador por sua vez após consumir o produto, retorna a embalagem vazia em alguma dessas RVM, e recebe um cupom com o valor total da embalagem. Este cupom pode ser trocado por dinheiro vivo no caixa do estabelecimento, ou mesmo ser utilizado para desconto, caso o comprador adquira novos produtos.

O método incentiva a devolução de recipientes, e contribui diretamente para a reciclagem e reutilização dos mesmos, reduzindo assim o despejo inadequado de resíduos.

Na Noruega, máquinas automatizadas de coleta seletiva de garrafas existem desde os anos 70. Neste país existe um órgão sem fins lucrativos chamado Norsk Resirk que regulamenta o sistema de reciclagem das garrafas plásticas e latinhas de alumínio. No sistema norueguês, a taxa de imposto sobre estes produtos é inversamente proporcional à taxa de reciclagem dos mesmos. Isto é, quanto maior a porcentagem de reuso das embalagens de bebidas, menor é o imposto calculado sobre a bebida. Este é o estímulo dado pelo governo para que a população continue realizando a coleta seletiva destas embalagens. Em 2005, o registro era de que 93% de todas as garrafas plásticas haviam sido recicladas, bem como 80% das latas de alumínio [12].

A idéia de estações de depósito de garrafas de cervejas existe na Noruega desde 1902, na época já havia o retorno em dinheiro pelas embalagens entregues. Hoje, são mais de 3.000 RVMs espalhadas pelos estabelecimentos noruegueses que creditam o valor das embalagens recebidas no valor final das compras do consumidor [13]. Um exemplo de RVM comercializada na Noruega pela empresa Tomra encontra-se na figura 1.



**Figura 1: Uma solução em Reverse Vending Machine da fabricante Tomra [13]**

Outro país que tem forte política de reciclagem de embalagens de bebidas é a Suécia. Neste país existe uma lei que torna ilegal a venda de bebidas industrializadas em embalagens que não constam no sistema que regulamenta o tema [13]. Uma empresa privada chamada Returpack é responsável por todo o sistema de reciclagem de PET e latas de alumínio no país, que têm taxa de reciclagem de 91% e 84%, respectivamente. E mesmo com esta alta taxa a empresa investe massivamente em propagandas televisivas de estímulo ao retorno das embalagens. O recolhimento das embalagens também é feito por RVMs que utilizam somente o código de barras para identificar o tipo de embalagem [14].

### **2.3 O mercado de Reverse Vending Machines**

Existem grandes empresas já consolidadas no mercado como importantes players na fabricação de RVMs. Abaixo apresentam-se as seis maiores neste ramo:

- **Tomra Systems ASA**, multinacional norueguesa, fundada em 1972 [15]
- **Trautwein SB Technik**, empresa alemã fundada em 1947 mas entrada no mercado de RVMs no ano de 1994 [16]
- **Wincor Nixdorf**, empresa alemã atuante em vários ramos da indústria, contando com quatro modelos de RVMs [17]
- **Envipco**, fundada em 1970 nos Estados Unidos com o objetivo de atender o mercado de RVMs.[18]

- **Envirobank**, empresa australiana focada somente na fabricação de RVMs [19]
- **reVend Reverse Vending Machines**, corporação do Reino Unido com marca registrada Reverse Vending ®[20]

## 2.4 Soluções existentes de RVMs

Existe grande variedade de soluções no mercado para RVMs. A primeira diferença básica é se a máquina aceita somente um tipo de material, ou tem a capacidade de reconhecer embalagens de diferentes tipos, como PET e latas de alumínio, ou PET, latas de alumínio e garrafas de vidro. A segunda diferença entre as máquinas é a capacidade de armazenamento, o que influencia diretamente a periodicidade de esvaziar os *containers*. Certas máquinas contam com uma esteira que leva as embalagens recolhidas para local selecionado pelo estabelecimento detentor da máquina (figura 2), outras são sistemas fechados, que estocam as embalagens retornadas dentro da própria máquina, em *containers* que podem ser esvaziados com a abertura da máquina por um funcionário (figura 3).

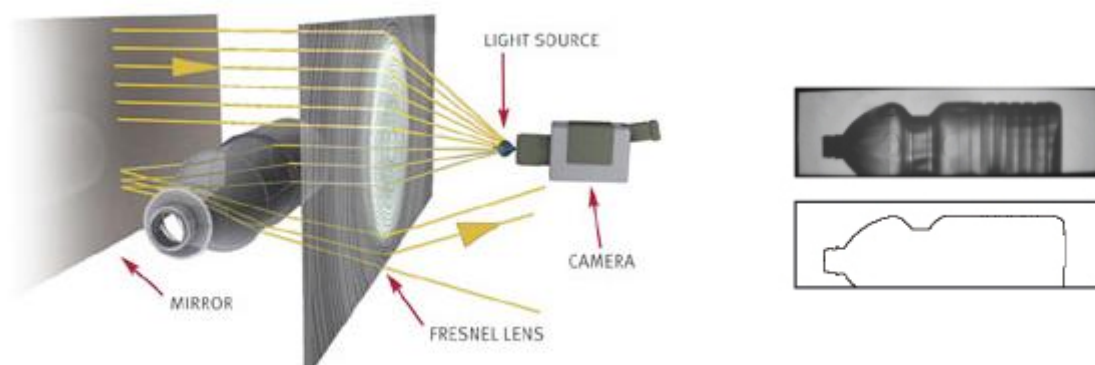


**Figura 2: RVM da marca Repant com sistema de esteiras que destinam as embalagens para centrais de recolhimento moldadas conforme as necessidades do estabelecimento em que se instalará a máquina [21]**



**Figura 3: Exemplo de RVM da marca reVend Global 101 com armazenagem interna de embalagens retornadas [20]**

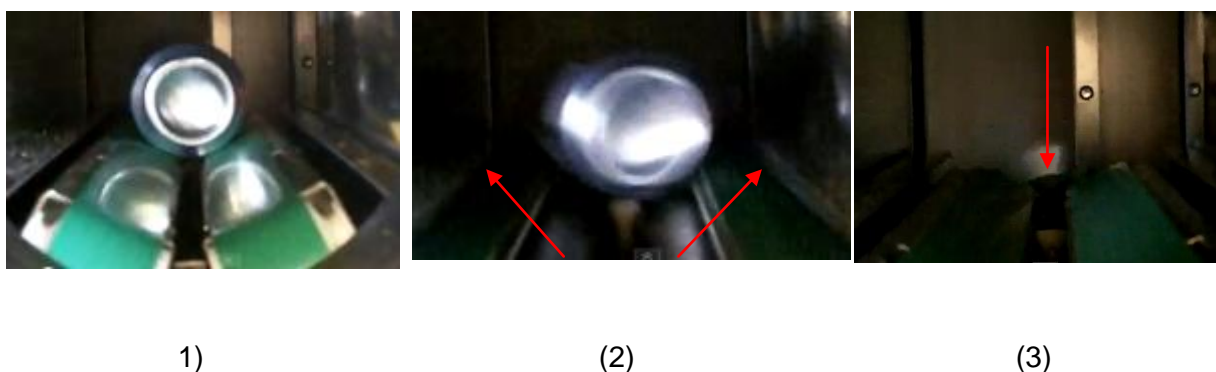
Outra diferença notável entre as máquinas disponíveis no mercado é seu sistema de reconhecimento das embalagens. Enquanto algumas se valem somente de um leitor de código de barras para reconhecimento da embalagem retornável, outras contam com sistema de câmeras que identificam e comparam a forma da embalagem inserida pelo usuário com um banco de dados (exemplo vide figura 4), além de possuírem sistema de medição de peso, que auxiliam na identificação de embalagens que não estejam totalmente vazias, e assim inapropriadas para descarte.



**Figura 4: Sistema de identificação por imagem de uma RVM da marca norueguesa Tomra [15]**

Diversos modos também estão presentes no mercado quanto à forma como é feita a leitura, tanto do código de barras como da imagem da embalagem.

O sistema mais empregado conta com esteiras e dois cilindros girantes que acionam uma vez que o sistema detecta embalagem. Conforme os cilindros giram, torna possível a leitura do código de barras independentemente de onde está posicionado o código, e então após este processo, as esteiras encaminham a embalagem para o fundo da máquina, como pode-se observar pela sequência de imagens na figura 5.



**Figura 5: (1) Recebimento da embalagem pelo sistema com ajuda das esteiras; (2) Acionamento dos cilindros para movimentação da embalagem; (3) Acionamento das esteiras que encaminham a embalagem para o fundo do compartimento**

Se a máquina em questão for de reconhecimento de mais de um tipo de material, um sistema de seleção ainda faz-se necessário após o reconhecimento do material. O método mais encontrado no mercado é uma porta seletora que se movimenta após reconhecimento do tipo de material, direcionando a embalagem para o local adequado de recolhimento do mesmo.

## **2.5 Análise de Confiabilidade**

No capítulo um foram elucidados os principais motivos que fundamentam o desenvolvimento deste projeto. Motivos estes que vão desde o atual cenário brasileiro da reciclagem e coleta seletiva, passando pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos e finalizando em uma comparação de sistemas de incentivo à coleta seletiva baseado em RVMs em outros países. Com estas informações, pode-se inferir que as RVMs têm grande potencial de participar do cotidiano do brasileiro. A partir desta premissa, tais máquinas terão necessariamente alto grau de interação com o usuário e também deverão operar por longos períodos afim de se maximizar a coleta de materiais recicláveis. Portanto uma análise de confiabilidade mostra-se muito apropriada ao escopo deste trabalho.

Definindo-se brevemente o conceito de confiabilidade, tem-se que o mesmo corresponde à possibilidade de um dado componente, equipamento, ou sistema executar sua função, por um período de tempo específico, sem apresentar falhas.

Dentre as inúmeras ferramentas de análise de confiabilidade, escolheu-se utilizar a análise da árvore de falhas (*Fault Tree Analysis* – FTA).

### **2.5.1 Análise da Árvore de Falhas**

A análise da árvore de falhas é um processo de análise centrado nos sintomas da falha. Ela possibilita um estudo mais aprofundado da combinação de diversos modos de falhas e seus efeitos. Visto que um sistema normalmente é composto por diversos componentes, e estes podem vir a falhar de maneiras diversas, a análise da árvore de falhas deve ser capaz de cobrir todas as combinações possíveis sem perder a clareza de interpretação de informação. Para tanto, ela é uma ferramenta gráfica. E os símbolos são definidos da seguinte maneira.

- Círculos representam eventos básicos e/ou primários;
- Losangos representam eventos para os quais não há desdobramento;
- Retângulos são condições induzidas pelos eventos imediatamente abaixo dele e podem levar a eventos acima dele;
- Os conectores lógicos são representações de associações lógicas como portas “E” e portas “OU”.

## Capítulo 3

### Métodos e meios

O presente projeto foi desenvolvido utilizando-se dois métodos como suporte. O primeiro deles é o *botton-up&top-down* e o segundo é uma adaptação do modelo em espiral. Ambos serão brevemente elucidados a seguir.

#### 3.1 Metodologias de Projeto Empregadas

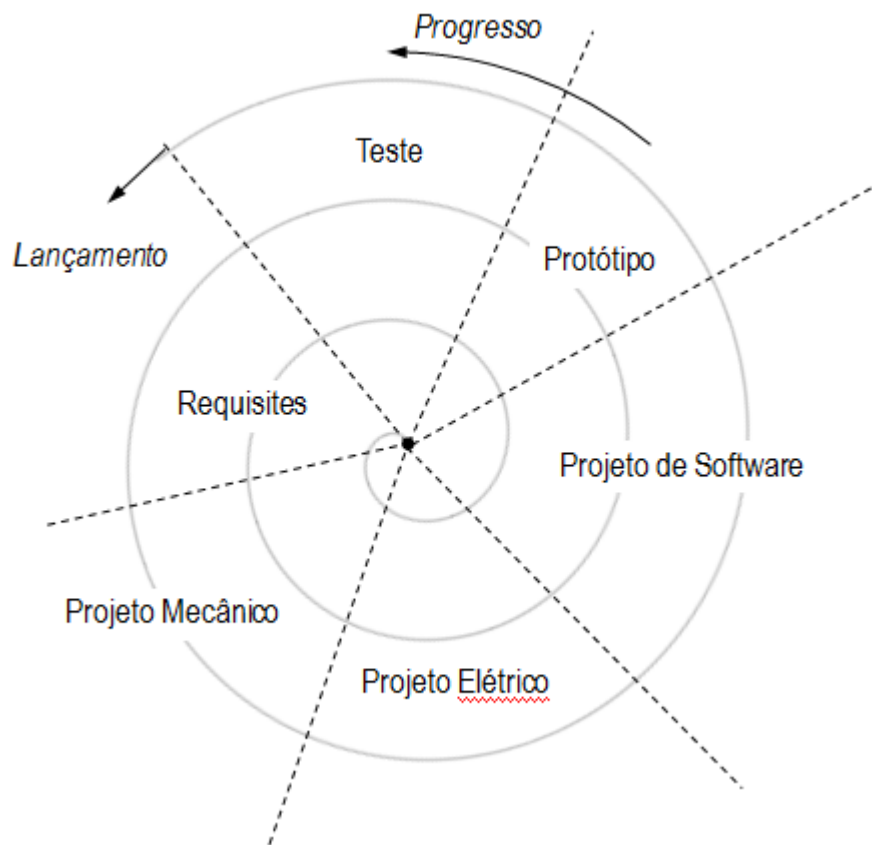
##### 3.1.1 Botton-Up & Top-Down

Este método é baseado ilustrativamente em duas direções de desenvolvimento: de cima para baixo e de baixo para cima. O primeiro sugere uma linha de raciocínio similar à “decomposição”, onde se inicia o desenvolvimento a partir do sistema total do produto. Com o avançar do desenvolvimento começa-se a detalhar níveis mais baixos (subsistemas) até se chegar nos pormenores, especificando por fim os componentes afim. Na segunda direção de desenvolvimento, ocorre o processo inverso. Inicia-se fixando os componentes primários e em função dos mesmos projeta-se os sistemas abrangedores até que o sistema total seja desenvolvido.

##### 3.1.2 Modelo em Espiral adaptado

Este modelo é muito utilizado no setor de desenvolvimento de softwares. Para este trabalho utilizou-se sua adaptação. A figura 6 ilustra as fases de um projeto baseado neste modelo.





**Figura 6: Modelo em Espiral do projeto da RVM**

Este modelo baseia-se no princípio de refinamento e melhorias de projeto constantes. Ao final de um ciclo de projeto percorrendo todas as áreas envolvidas – requisitos, projeto mecânico, projeto elétrico, projeto de software, protótipo e teste – inicia-se um novo ciclo a fim de se avaliar a performance do projeto previamente desenvolvido e, principalmente, procurar meios de se aprimorar o projeto e seus subsistemas para que os requisitos sejam atingidos da maneira mais ideal possível.

## **3.2 Requisitos Direcionadores**

Requisitos direcionadores são os requisitos gerais a serem atendidos dentro do projeto. A avaliação das características finais do projeto com relação ao cumprimento destes requisitos irá definir o sucesso do mesmo. Por isso, é muito importante que se dê atenção especial à concepção dos requisitos de projeto. A seguir encontram-se os requisitos do projeto.

### **3.2.1 Tipos de Embalagens**

Conforme elucidado na introdução deste trabalho, a RVM deve ser capaz de aceitar embalagens de bebidas – pois são as que tem grande rotatividade no mercado. Dentre as embalagens de bebidas, a RVM deverá aceitar apenas aquelas produzidas pelos seguintes materiais: PET, vidro e alumínio.

### **3.2.2 Funcionalidade**

Baseado no item acima, a RVM deve ser capaz de identificar o material da embalagem a ser aceita. Em adição à identificação, ela deve também ser capaz de sortir a embalagem e alocá-las em diferentes reservatórios de acordo com o material. Embalagens cujo material difere das especificadas no item anterior devem ser retornadas ao usuário.

### **3.2.3 Acionamento**

A principal proposição de valor para a RVM desenvolvida é a simplificação do(s) acionamento(s). O presente objeto deste trabalho deve apresentar uma redução na complexidade e no número de acionamentos necessários para manter a mesma funcionalidade das máquinas já existentes.

### **3.2.4 Interface-Homem-Máquina**

Por se tratar de uma máquina não tão disseminada e intuitiva ao uso, a RVM deve possuir uma interface de comunicação com o usuário a fim de se garantir sua funcionalidade completa.

### **3.2.5 Ergonomia**

Visto que a RVM é caracterizada por uma alta interação com o usuário, ela deve, portanto, ser ergonômica para assim assegurar seu conforto e segurança.

### **3.3 Seleção de alternativa**

As alternativas aqui propostas foram concebidas através de geração de múltiplas idéias assistidas pelo método *brainstorming*, combinando modelos já existentes e modelos idealizados; em seguida selecionou as três alternativas com maior potencial de sucesso. Tais alternativas encontram-se apresentadas a seguir.

#### **3.3.1 Solução 1**

A solução 1 foi projetada para funcionar com base em uma grande mesa giratória e um eixo central vertical também girante. Após o usuário posicionar a embalagem reciclável na mesa, esta começará a girar a fim de que o leitor de código de barras possa identificar o mesmo. Então, do reconhecimento do material a partir da leitura do código de barras, um sinal é enviado ao eixo vertical girante com a informação de quantos graus deverá se mover, afim de que a garrafa seja direcionada para o correto grupo de seleção. Uma vez posicionada corretamente a abertura da mesa girante, um dispositivo simples de expulsão é acionado fazendo com que a embalagem seja impulsionada para uma rampa inclinada, que direciona a garrafa para o cesto de descarte.

Na figura 7 abaixo se pode conferir o esquema mecânico proposto da Solução 1:

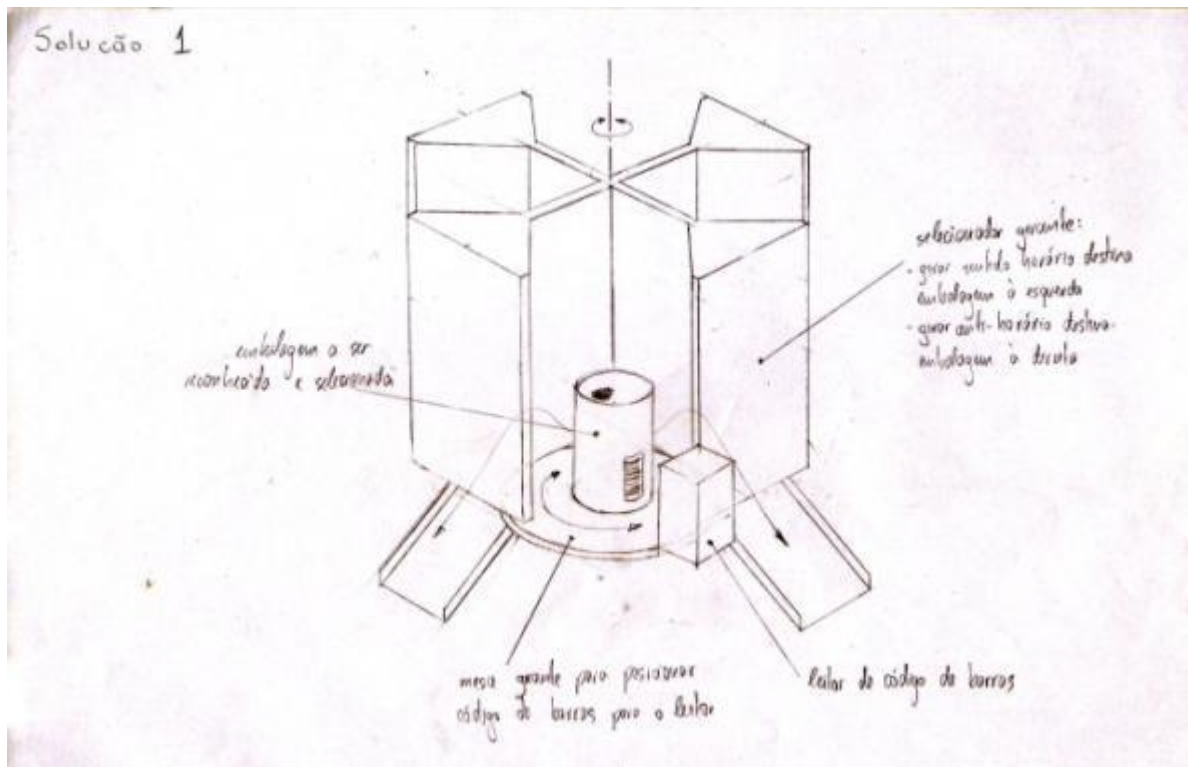


Figura 7: Primeira solução mecânica proposta

### 3.3.2 Solução 2

A solução 2 consiste na utilização de duas esteiras retráteis, que se afastam no momento em que a embalagem a ser reconhecida alcança o perímetro de reconhecimento do leitor de código de barras, fazendo com que a garrafa caia sobre dois cilindros, que girarão a embalagem afim de tornar possível a leitura do código de barras pelo leitor. Após reconhecimento do código de barras, as esteiras retráteis se fecham e movimentam a embalagem para uma segunda esteira, que por sua vez movimenta a mesma até uma “porta” selecionadora, que estará posicionada com abertura de um certo ângulo, de acordo com o material reconhecido através da leitura do código de barras. A “porta” selecionadora poderá estar totalmente aberta ( $\Theta = 0^\circ$ ), deixando passar a embalagem, ou com abertura de  $\Theta = 60^\circ$ , fazendo com que a garrafa seja direcionada para a direita, ou com  $\Theta = 120^\circ$ , direcionando para a esquerda.

A figura 8 abaixo traz o esquema do sistema mecânico proposto para a solução 2

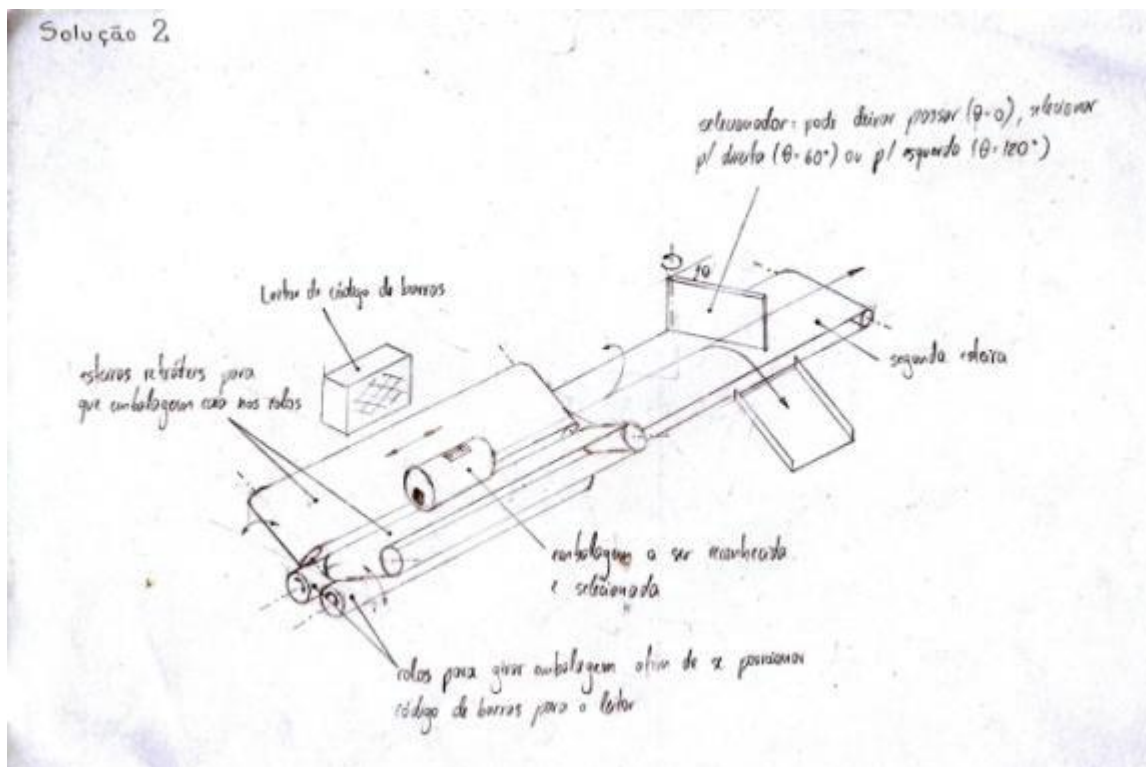


Figura 8: Segunda solução mecânica proposta

### 3.3.3 Solução 3

A solução 3 consiste em dois cilindros girantes, uma menor, somente para suporte, e outro maior, que atuará tanto na identificação do código de barras, como na seleção do material em PET, alumínio ou vidro. Primeiramente o usuário coloca a embalagem na parte superior do cilindro maior, que começará a girar a fim de tornar possível a leitura do código de barras. Uma vez identificado o código de barras, o cilindro maior completa sua volta, fazendo com que a embalagem empurre somente com sua força peso a porta do rasgo presente no cilindro, e caia no seu interior. O motor que gira o cilindro maior receberá o sinal de quantos graus deverá girar para que a porta do mesmo cilindro se posicione corretamente na direção do cesto de descarte, de acordo com o material identificado. Por fim, um solenóide é acionado fazendo com que a porta abra e deixe cair a embalagem (esquema vide figura 9).

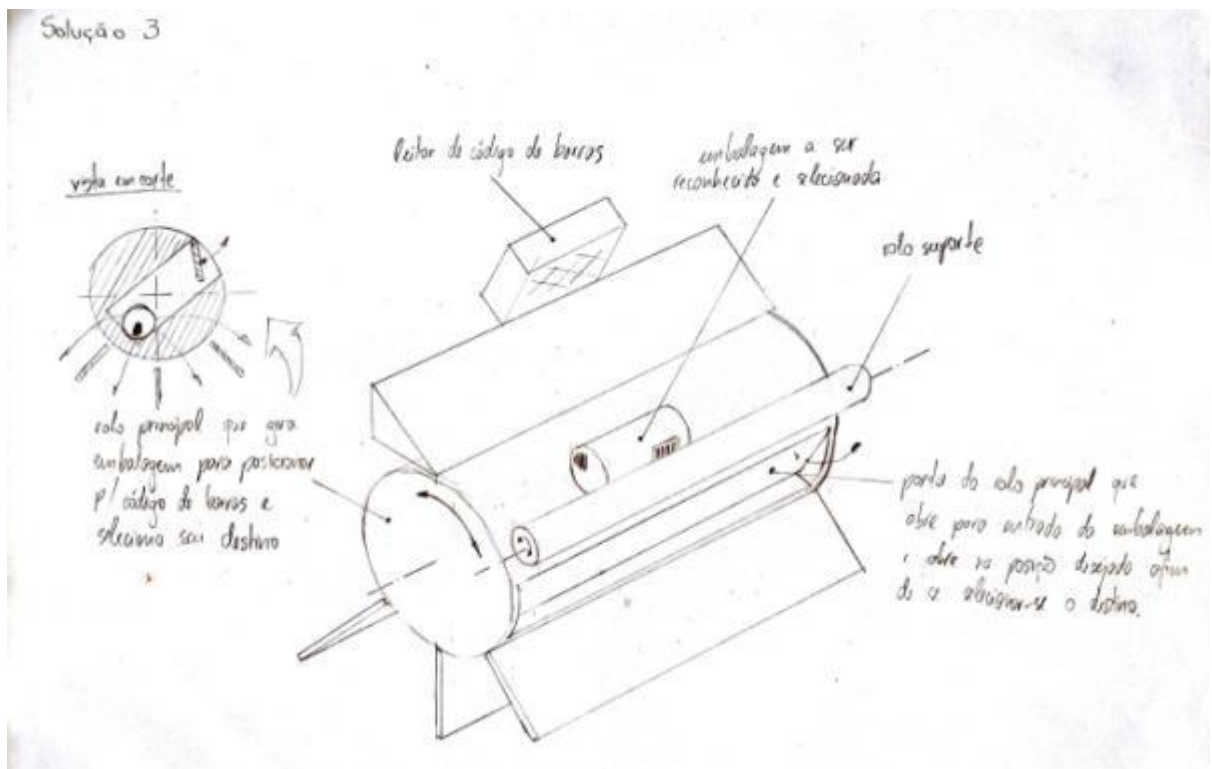


Figura 9: Terceira solução mecânica proposta

### 3.3.4 Matriz de Decisão

Para dar sequência ao processo de escolha da melhor alternativa, uma matriz de decisão foi construída com os seguintes critérios listados a seguir:

- **Custo de Fabricação:** Considera a quantidade e o custo dos materiais necessários para a fabricação da máquina. Quanto maior o custo, menor a nota.
- **Segurança:**
- **Complexidade de Construção:** Considera a simplicidade de fabricação e montagem. Quanto maior a complexidade, menor a nota.
- **Confiabilidade:** Considera a probabilidade de falha da máquina, isto é, de classificar erroneamente o material de uma embalagem. Quanto maior a confiabilidade, maior a nota.
- **Tempo de um Ciclo de Reconhecimento:** Considera o tempo que a máquina leva para completar um ciclo de reconhecimento da embalagem inserida. Quanto maior o tempo, menor a nota.

Os pesos atribuídos aos critérios selecionados para a construção da matriz de decisão encontram-se na Tabela 1, bem como o resultado encontrado.

**Tabela 1: Matriz de Decisão para Solução Mecânica**

<b>Peso</b>	5	3	5	2	4	19
<b>Equivalência</b>	26%	16%	26%	11%	21%	100%
	<b>Custo de Fabricação</b>	<b>Segurança</b>	<b>Complexidade de Construção</b>	<b>Confiabilidade</b>	<b>Tempo de um Ciclo de Reconhecimento</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Solução 1</b>	10	4	6	4	10	7,4
<b>Solução 2</b>	6	9	5	3	4	5,5
<b>Solução 3</b>	10	9	10	7	10	<b>9,5</b>

Observa-se que a alternativa que mais se adequa aos critérios levados em consideração é a solução 3. Dessa forma, o projeto mecânico detalhado foi feito com base nesta solução.

### 3.4 Projeto Básico

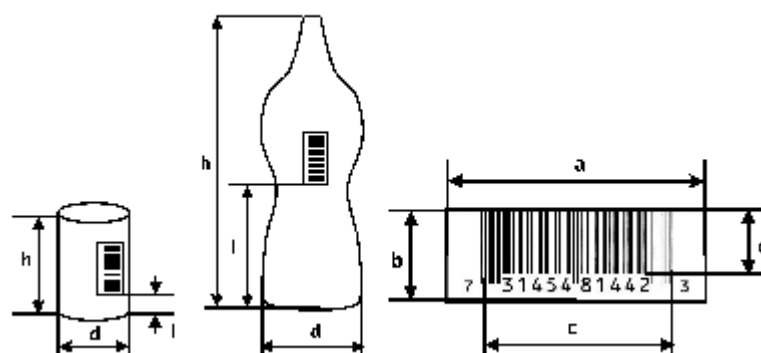
Conforme a metodologia do modelo em espiral realizou-se neste primeiro ciclo de desenvolvimento a concepção do projeto básico. Foram definidos o mecanismo básico, bem como o projeto de software e projeto elétrico preliminares. Esta primeira concepção é de grande importância, pois delinea o restante do desenvolvimento descrito no item 3.5 em diante.

#### 3.4.1 Projeto Mecânico

Para que a RVM seja corretamente dimensionada, utilizou-se a princípio o modelo de desenvolvimento “bottom-up”. Este modelo consiste no desenvolvimento do sistema a partir de seus componentes menores e mais relevantes para o projeto. Com base neste estudo, dimensionam-se então os componentes maiores.

##### 3.4.1.1 Estudo das embalagens a serem aceitas pela RVM

Seguindo o modelo de desenvolvimento proposto, deve-se primeiramente realizar um estudo sobre as embalagens a serem aceitas, bem como suas características principais como dimensões e posição do código de barras (ver Figura 4).



**Figura 10: Dimensões a serem consideradas das embalagens**

Após uma análise das principais embalagens que apresentam maior rotatividade no mercado brasileiro de bebidas, obtiveram-se os seguintes resultados:



**Tabela 2: Dimensões das garrafas PET**

PET	h [mm]	d [mm]	l [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	d [mm]	Orientação
Bonafont 1,5L	330	90	111	32	12	27	8	Vertical
Coca-Cola 1,5L	320	95	135	33	18	28	11	Vertical
Coca-Cola 2L	345	105	172	33	17	28	13	Horizontal
Mini Schin 0,25L	120	68	35	30	15	25	10	Vertical
Guaraná 0,237L	165	54	59	30	14	25	9	Vertical
Guaraná 1,5L	330	92	117	29	11	23	8	Vertical

**Tabela 3: Dimensões das garrafas de alumínio**

Alumínio	h [mm]	d [mm]	l [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	d [mm]	Orientação
Skol 269mL	123	59	15	-	-	23	11	Vertical
Guaraná 380mL	123	67	45	31	13	25	9	Vertical
Coca-Cola 50mL	123	210	15	30	12	25	9	Vertical

**Tabela 4: Dimensões das garrafas de vidro**

Vidro	h [mm]	d [mm]	l [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	d [mm]	Orientação
Skol 600mL	236	73	145	30	12	27	9	Vertical
Skol 1L	290	90	170	30	13	28	9	Vertical
Coca Cola	202	55	120	30	12	25	9	Vertical

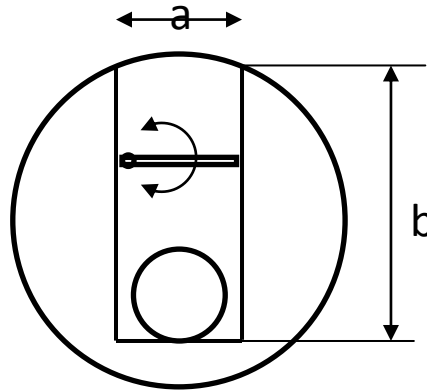
### 3.4.1.2 Cálculo do diâmetro do cilindro girante

Para especificação das medidas do cilindro girante que serão adotadas no projeto da RVM, foram analisados as seguinte restrições:

#### I. Restrição nº1

O cilindro girante deve possuir uma abertura que possibilite a recepção da maior embalagem a ser aceita, isto é, a embalagem PET 3L com diâmetro de 150 mm. A

profundidade deste canal também deverá ser suficientemente grande para que a porta possa abrir para cima e para baixo sem que a embalagem fique travada na cavidade, ou seja, a profundidade deverá ser maior ou igual a duas vezes a largura do diâmetro da mesma embalagem(figura 11).



**Figura 11: Dimensionamento da abertura interna do cilindro**

## II. Restrição nº2

Considerando que o código de barras da embalagem inserida deve ser posicionado ao menos uma vez dentro do campo de leitura do leitor, é necessário garantir que durante o processo de busca pelo código de barras a embalagem sofra pelo menos uma revolução completa. Desse modo, para chegar ao ângulo que representa a rotação mínima do cilindro principal que garante uma revolução completa de todas as embalagens a serem aceitas pela RVM, abaixo são apresentados os cálculos para o pior caso, isto é, considerando a embalagem de maior diâmetro (150 mm).

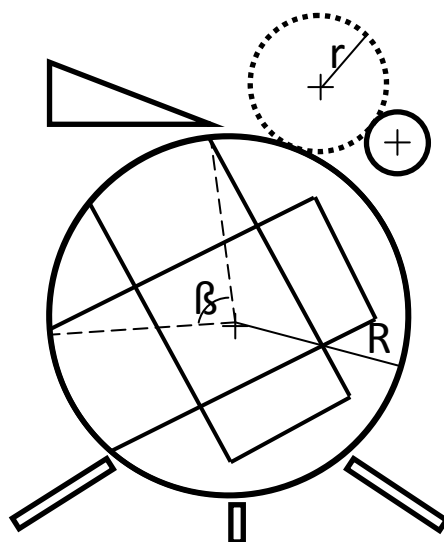
Seja “R” o raio do cilindro girante, “r” o raio da maior embalagem e “ $\beta$ ” o ângulo que representa a menor rotação necessária do cilindro para uma revolução completa da embalagem, vem:

$$\frac{\beta}{360} 2 \cdot \pi \cdot R = 2 \cdot \pi \cdot r \quad (1)$$

$$\frac{\beta}{360} R = r \quad (2)$$

$$\beta = \frac{r}{R} \cdot 360 = \frac{7,5cm}{22,5cm} \cdot 360 = 120 graus \quad (3)$$

A figura 12 trás as variáveis do cálculo da rotação mínima do cilindro.



**Figura 12: Variáveis para cálculo da rotação mínima do cilindro girante**

Assim, para que a maior embalagem sofra uma revolução completa ao menos uma vez, o cilindro deve girar com uma amplitude mínima de 120 graus.

#### **3.4.1.3 Cálculo do comprimento do cilindro girante**

Segundo estudo realizado sobre as embalagens, a embalagem com maior altura é a garrafa PET 3L com 350 mm. Portanto o comprimento da abertura do cilindro deve ser no mínimo igual a esta dimensão adicionada das margens e folgas adequadas. Desta forma, a medida adotada para o cilindro girante no projeto da RVM foi de 400 mm.

#### **3.4.1.4 Sistema de proteção às embalagens**

Será necessário manter a integridade das embalagens, principalmente as de vidro, pois a coleta das mesmas visa preferencialmente seu reuso à reciclagem propriamente dita. Durante todo o processo, existem dois momentos críticos nos quais existe a possibilidade de trinca e até mesmo quebra das embalagens de vidro.

O primeiro ocorre quando a embalagem é recebida no cilindro. A embalagem neste momento cai e impacta contra a base de abertura do cilindro. Para assegurar a integridade da garrafa de vidro, deve-se utilizar uma superfície absorvedora de impacto adequada. A solução escolhida foi adicionar uma camada de borracha na superfície interna do cilindro girante.

Outro momento crítico se dá na liberação da garrafa, e o impacto desta no reservatório de coleta de embalagens. Para evitar um grande impacto, no reservatório de garrafas de vidro um sistema de mola e mesa será adicionado para que a altura de queda da embalagem não seja tão alta quanto a profundidade do reservatório. Dessa maneira, à medida que o reservatório recebe as garrafas, a mola vai se comprimindo devido à força peso das garrafas.

#### **3.4.1.5 Ergonomia**

Partindo do princípio que a estatura média do homem brasileiro é de 1731mm e de 1611mm para as mulheres, temos uma média de 1671mm. Assim, 1500 mm é uma altura confortável para a localização da abertura pela qual as embalagens devem ser inseridas na RVM.

Estas análises são o ponto de partida para o dimensionamento do projeto mecânico apresentado abaixo.

#### **Material da superfície externa do cilindro girante**

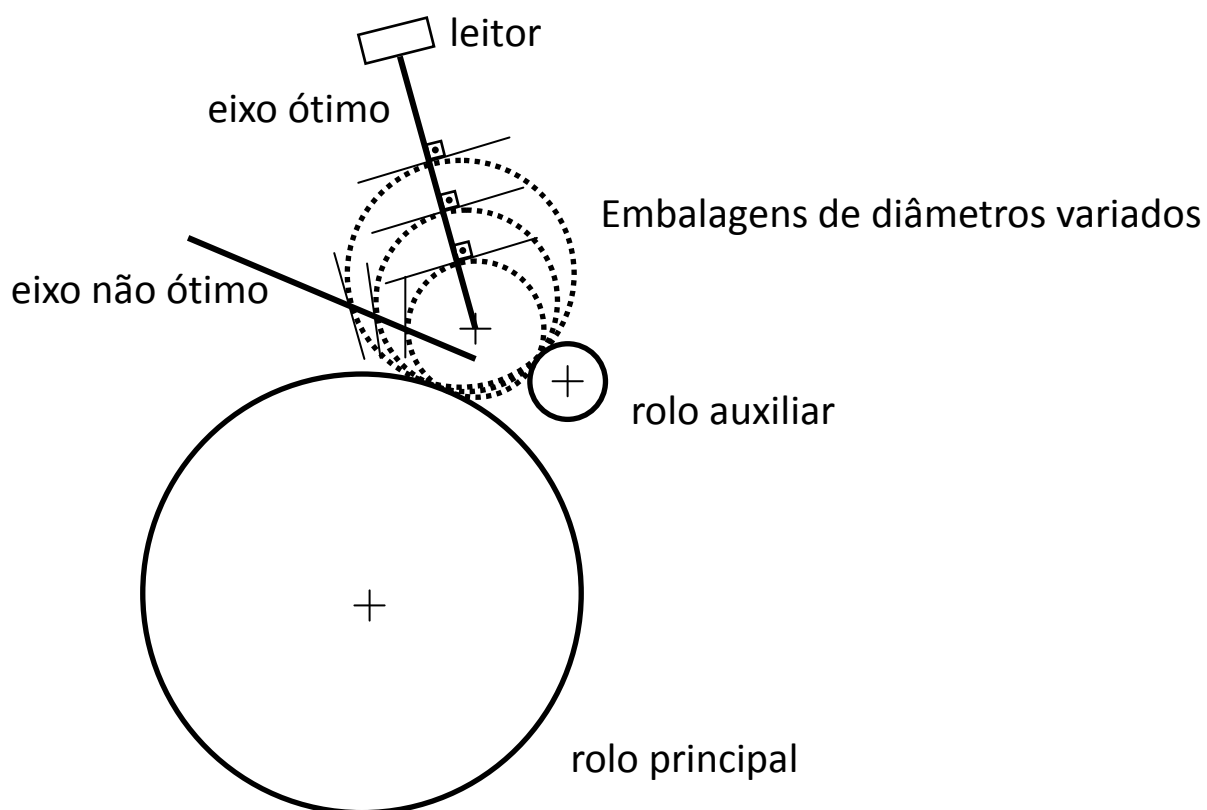
A superfície do cilindro principal deve possuir uma boa aderência para que, através das forças de atrito, o movimento de rotação possa ser transferido para a embalagem. Para tal será adicionada uma camada de borracha ao cilindro.

### Posicionamento do leitor de código de barras

O leitor de código de barras deve ser posicionado de tal forma que haja eficácia na leitura dos códigos de barras, independentemente do diâmetro da embalagem a ser reconhecida.

#### I. Leitor de código de barras com apenas uma direção de leitura

Neste caso o código de barras deve idealmente sempre estar num plano perpendicular ao eixo de leitura.

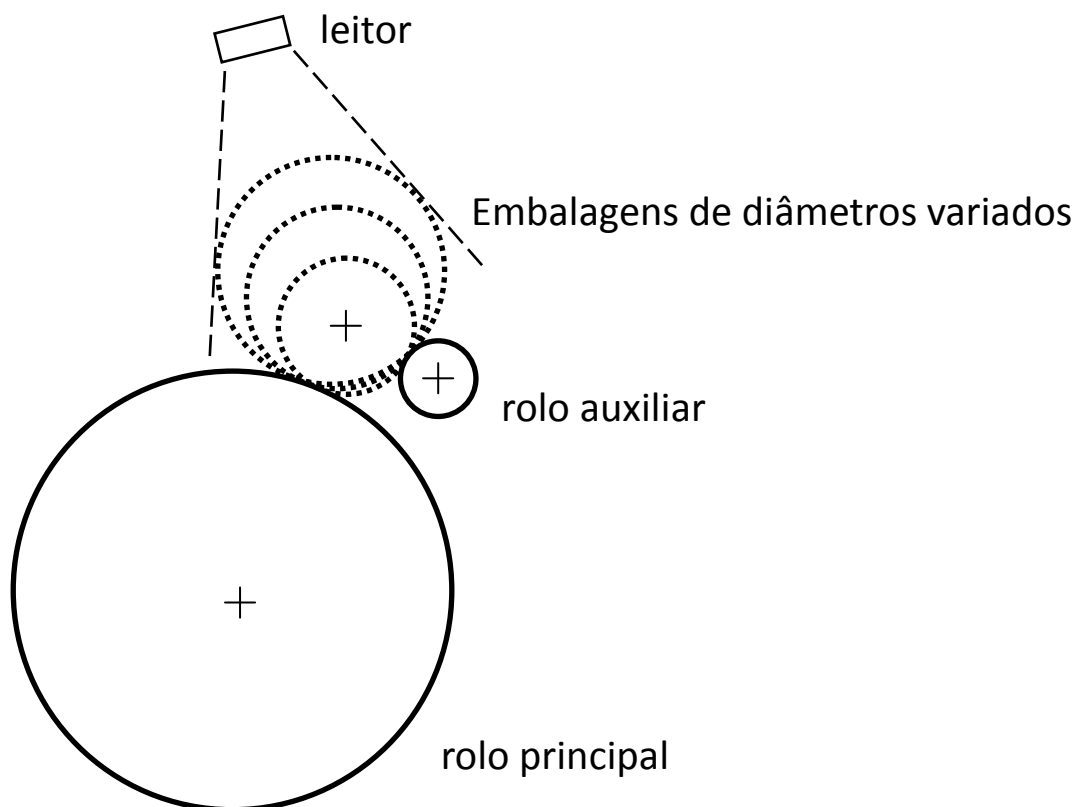


**Figura 13: Posição ideal para um leitor de códigos de barras com direção única de leitura**

A Figura 13 exemplifica o efeito que três embalagens de diâmetros diferentes podem ter na leitura. Um “eixo não ótimo” pode ser observado na figura, onde o leitor de código de barras estaria lendo os códigos de barras das embalagens em diferentes ângulos. Já um “eixo ótimo” é aquele que passa pelo centro de curvatura de todas as embalagens de diferentes diâmetros. Portanto, o leitor de código de barras deveria ser posicionado sobre este eixo, possibilitando que a leitura ocorresse sempre da melhor maneira possível.

#### II. Leitor de código de barras omnidirecional:

Neste caso o leitor deve ser posicionado afim de que seu campo visual, de acordo com a abertura de seus feixes, seja capaz de cobrir todas as localizações possíveis dos códigos de barras, como observa-se pelo esquema da figura14



**Figura 14: Posição de um leitor de código de barras omnidirecional**

### III. Escolha do leitor de código de barras

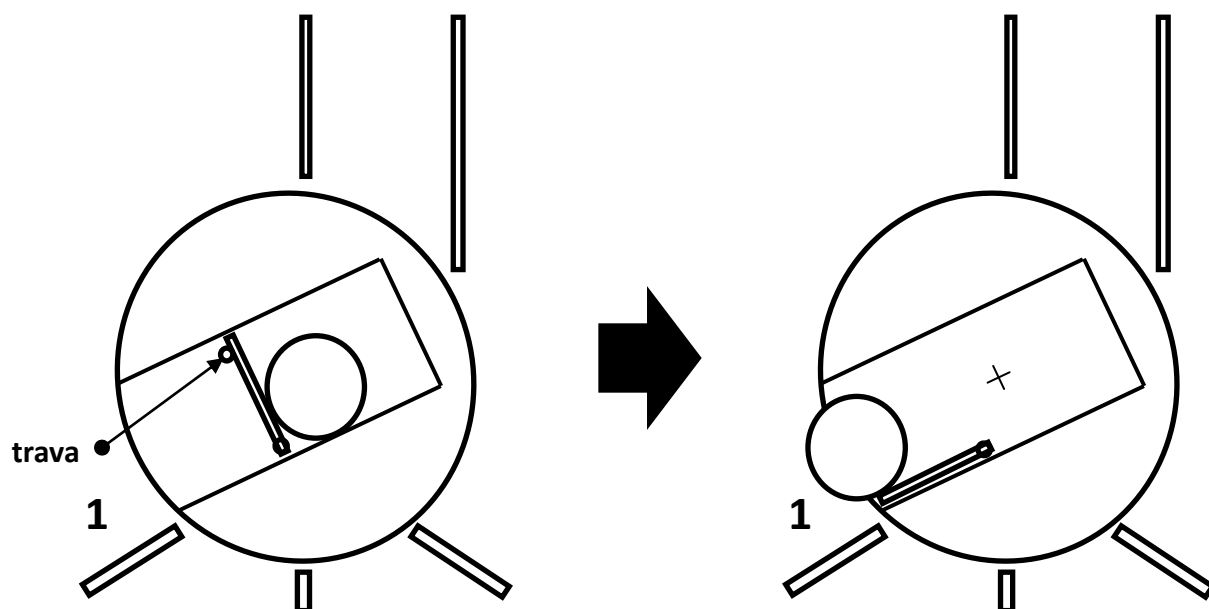
A desvantagem do leitor omnidirecional é o custo, cerca de seis vezes mais caro que o unidirecional, contudo por apresentar uma eficácia muito maior, o leitor omnidirecional será utilizado neste projeto.

#### **Posição de liberação da embalagem**

O sistema de travamento e destravamento da porta é composto apenas por um solenóide que, quando ativado, impede que a porta se abra. A abertura da porta, quando desimpedida pela trava, ocorre unicamente devido às forças peso da própria porta e da embalagem.

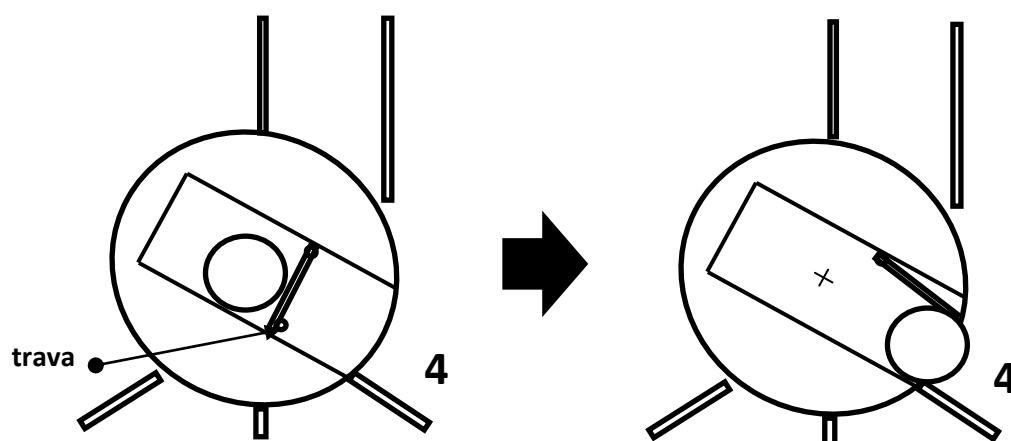
Neste projeto de RVM existem quatro posições de descarte destinadas ao PET, alumínio, vidro e embalagens não válidas ou não reconhecidas. Cada uma dessas posições se comporta de maneira diferente, devido à articulação não simétrica e unilateral da porta.





**Figura 16: Posição de descarte do PET**

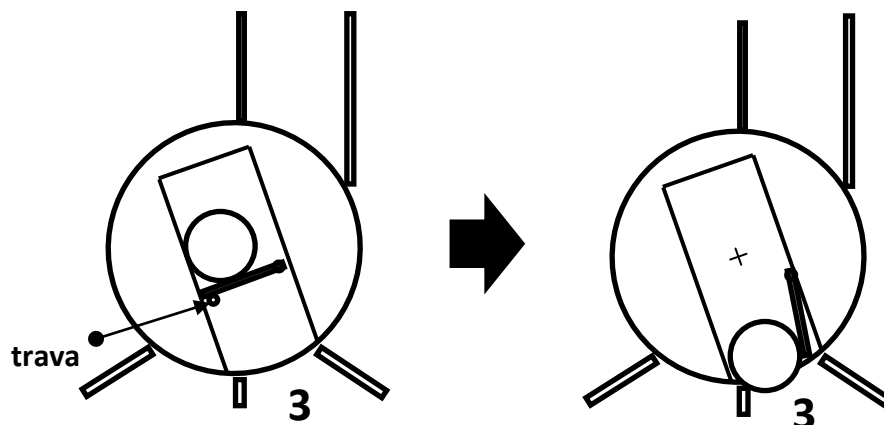
A posição 4 é a posição que exige maior desempenho do peso da embalagem para que a abertura da porta seja possível (figura 17). O peso da porta auxilia sua abertura até o ponto em que a porta fica na posição vertical. A partir deste ponto, o peso realizará resistência contrária a sua abertura, ou seja, o efeito do peso da embalagem deve sobrepor a força peso da porta para que a abertura seja efetuada com sucesso e a embalagem seja liberada. Portanto destina-se a esta posição as embalagens com maior peso, ou seja, as embalagens de vidro.



**Figura 17: Posição de descarte do vidro**



Uma vez que as embalagens de PET, de alumínio e de vidro já possuem posições de descarte, a posição 3 será responsável pelo descarte das embalagens não válidas ou não reconhecidas (figura 3).



**Figura 18: Posição de descarte das embalagens não válidas ou não reconhecidas**

### **Concepção de componentes**

Mantendo o objetivo de se desenvolver um projeto sustentável e buscando causar maior impacto, seguiu-se alguns princípios de concepção de produtos desenvolvidos por Manzini, E. et Vezzoli, C. em [22]. Segundo os autores existem 5 pontos principais relacionados a Life Cycle Design. São eles:

- A. Minimização dos recursos: projetar buscando-se redução do uso de materiais e uso energético em todas as fases do ciclo de vida;
- B. Escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental: selecionar materiais, processos e fontes de energéticas atóxicas e não nocivas em busca de uma redução do impacto qualitativamente;
- C. Otimização da vida dos produtos: projetar artefatos que durem por longo período e que sejam utilizados intensamente por meio de reaproveitamento de componentes e de reciclagem;
- D. Extensão da vida dos materiais: projetar em função da reciclagem, combustão ou compostagem dos materiais a serem descartados;

E. Facilidade de desmontagem: projetar em função da facilidade de separação das partes, “design for disassembly”, visando a facilidade de manutenção, reparos, update ou reuso (otimização da vida dos produtos) e materiais (extensão da vida dos materiais). (VEZZOLI, 2007. p. 61-63)

Os pontos acima descritos serviram como suporte para o desenvolvimento da RVM. O alumínio foi o material escolhido para as partes mecânicas. Além dos benefícios relacionados a facilidade de usinagem, levou-se em consideração sua baixa densidade, o que diminui o momento de inércia e reduz esforços, resultando em uma redução final da energia necessária para se acionar as partes móveis da máquina.

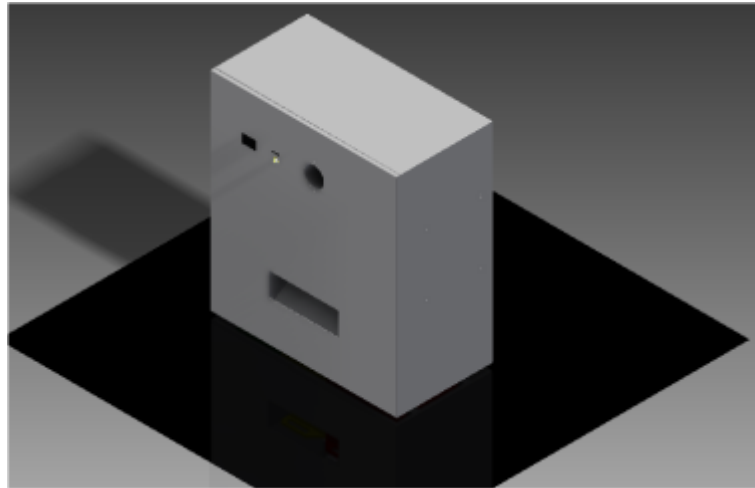
Para os processos de união, o uso de parafusos foi preferido em relação à soldagem e à rebiteagem. Apesar de aumentar a complexidade das partes usinadas, o uso de parafusos facilita a manutenção, reparos e reuso de componentes.

Para componentes universais, como mancais e rolamentos, utilizou-se produtos prontos já disponíveis no mercado.

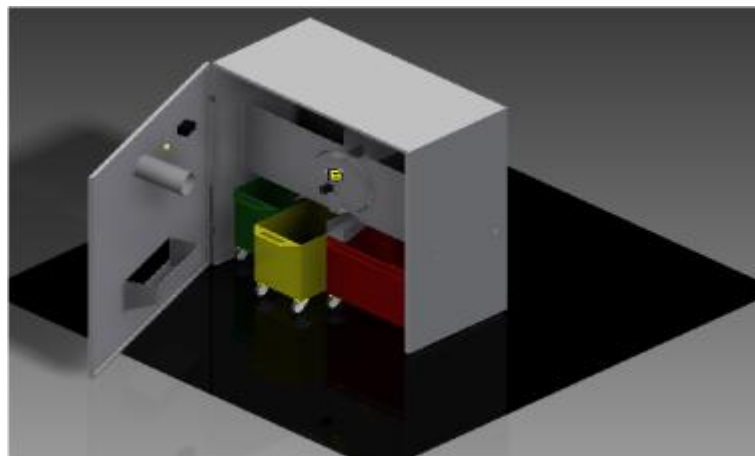
Para componentes estruturais particulares ao projeto, procurou-se concebê-los, sempre que possível, baseando-se em matérias-primas já disponíveis no mercado. Por exemplo, para a construção da barra de suporte do cilindro pode-se usar um perfil de alumínio extrudado com formato em “L” (também chamado de cantoneira). Dessa forma, facilitou o processo de fabricação do componente em questão, reduzindo o número de fases pós-usinagem.

#### **3.4.1.6 Modelo em CAD do Projeto Mecânico primário**

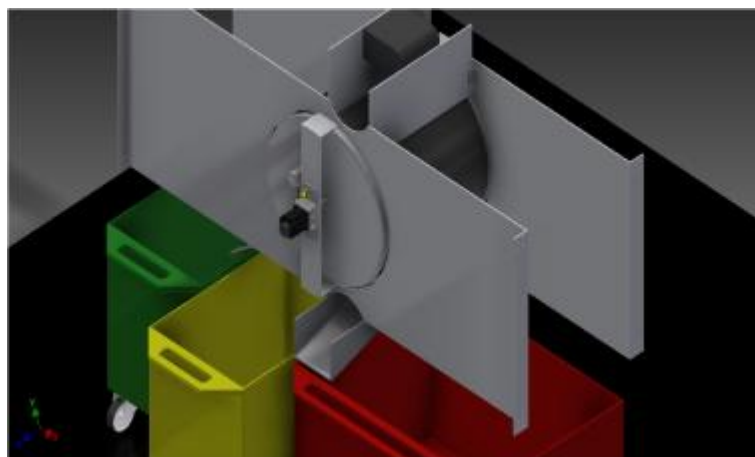
Utilizou-se o software Autodesk Inventor para a modelagem CAD. Os respectivos desenhos feitos encontram-se a seguir, bem como os desenhos de fabricação estão no anexo B deste relatório.



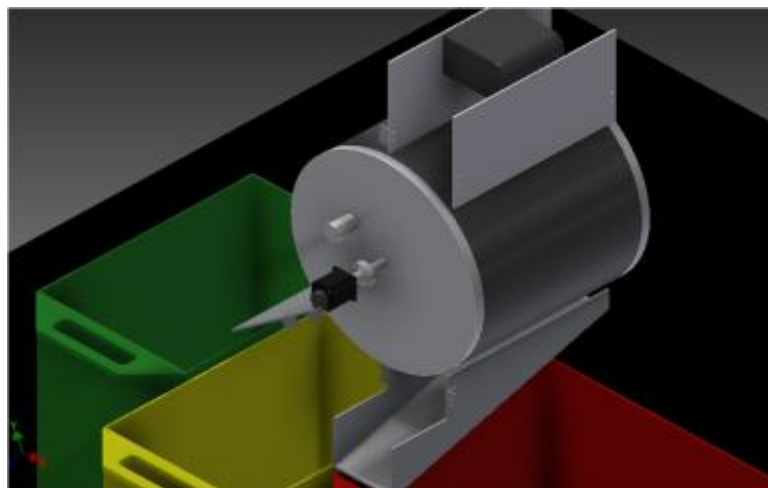
**Figura 19: Vista da RVM fechada**



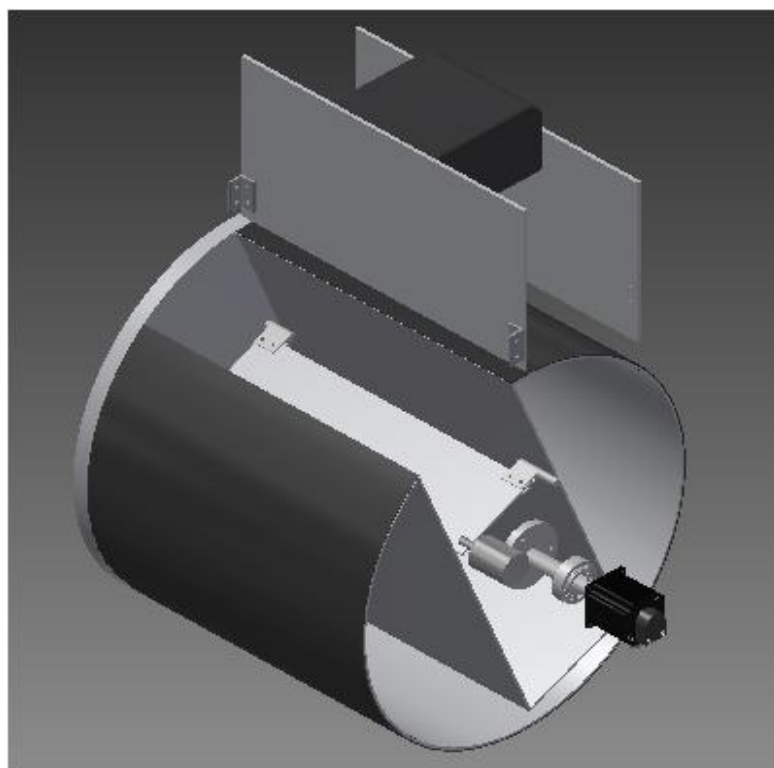
**Figura 20: Vista da RVM aberta**



**Figura 21: Detalhe do cilindro girante e do motor acoplado**



**Figura 22: Detalhe do cilindro e posições de descarte das embalagens**



**Figura 23: Detalhe da abertura e porta do cilindro**

### 3.4.2 Projeto Elétrico

Para uma melhor visualização do projeto elétrico, os sistemas serão detalhados separadamente, bem como a justificativa pela escolha de cada componente.

#### 3.4.2.1 Placa controladora

A placa controladora selecionada para o controle de todo o sistema elétrico foi o Arduino Mega [27]. Esta placa é baseada no microcontrolador ATmega2560, com 54 entradas/saídas digitais, das quais 14 podem ser utilizadas como saídas PWM, 16 entradas analógicas e 4 UARTs (portas seriais). A placa ainda conta com: Oscilador de 16MHz, conexão USB, conector de força, conector ICSP e botão de reset.

Desse modo, optou-se por esta placa controladora uma vez que apresenta quantidade de portas suficientes para este projeto, além de ser baseado em microprocessador de código aberto, com vasta literatura disponível, facilitando assim sua programação.

A figura 18 traz a imagem de um Arduino Mega.



Figura 24: Arduino Mega

#### 3.4.2.2 Motor de acionamento do cilindro girante

O cilindro girante tem dois papéis fundamentais. O primeiro é transferir o movimento de rotação para a embalagem alvo, a fim de facilitar o posicionamento do código de barras para

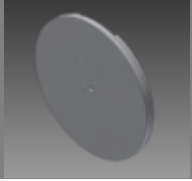
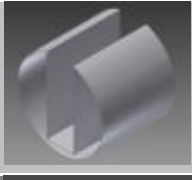


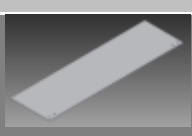




que sua leitura possa ser realizada com sucesso. Para tanto, o cilindro deve ser capaz de girar em ambos os sentidos, com um bom controle de velocidade.

A segunda função é selecionar a embalagem. Isto é, após o reconhecimento da embalagem através da leitura do código de barras, o motor deve ser capaz de posicionar o cilindro com precisão, para que a embalagem caia pela abertura do cilindro, dentro do mesmo. Em seguida, o motor deve posicionar o cilindro novamente na abertura correspondente, de acordo com o tipo de embalagem.

Inicialmente foram considerados dois tipos de motores, o motor de passo e o servomotor, já que ambos apresentam os requisitos necessários para este projeto: controle de velocidade e posição. Contudo o motor selecionado foi o motor de passo, uma vez que este tipo de motor trabalha com malha aberta e não necessita de encoders, ao contrário do servomotor, que por possuir sistema de malha fechada, se faz necessário o uso de um encoder para realimentar o sistema com a posição atual do motor.

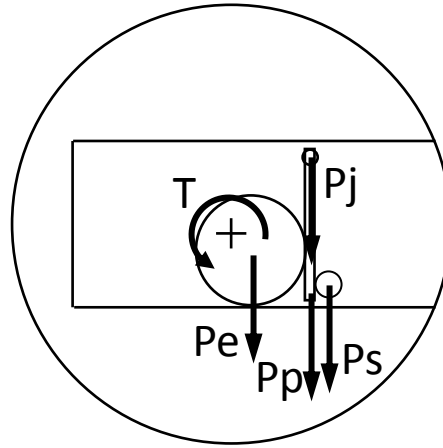
Uma vez escolhido o tipo de motor que será utilizado, é necessário o dimensionamento do mesmo. Na tabela 5 abaixo encontram-se os momentos de inércia de cada componente do sistema de seleção da RVM, calculados pelo próprio software de CAD utilizado no projeto mecânico: Autodesk Inventor.

**Tabela 5: Momentos de inércia para dimensionamento do motor**

Parte	Imagem	Momento de inércia	Qtde.	Total
Tampa do cilindro		393537 kg.mm <sup>2</sup>	2	787075 kg.mm <sup>2</sup>
Corpo do cilindro		297520 kg.mm <sup>2</sup>	1	297520 kg.mm <sup>2</sup>
Eixo menor		320 kg.mm <sup>2</sup>	1	320kg.mm <sup>2</sup>
Eixo maior		322 kg.mm <sup>2</sup>	1	322 kg.mm <sup>2</sup>
Porta		$0,471 \text{ kg} \cdot (70\text{mm})^2 = 2308 \text{ kg.mm}^2$	1	2308 kg.mm <sup>2</sup>
Junta suporte da porta		$0,070 \text{ kg} \cdot (86\text{mm})^2 = 518 \text{ kg.mm}^2$	2	1035 kg.mm <sup>2</sup>
Solenóide		$0,509 \text{ kg} \cdot (97\text{mm})^2 = 4789 \text{ kg.mm}^2$	2	9578 kg.mm <sup>2</sup>
Superfície emborrachada		53297 kg.mm <sup>2</sup>	1	53297 kg.mm <sup>2</sup>
Embalagem com maior massa (vidro)		$\text{Aprox } 1\text{kg} \cdot (100\text{mm})^2 = 10000 \text{ kg.mm}^2$	1	10000 kg.mm <sup>2</sup>

Para o cálculo de torque necessário, se tem no pior cenário, apenas o efeito do peso das juntas suporte da porta, a própria porta, dois solenóides e uma embalagem. Todos os outros elementos têm seu centro de gravidade alinhado ao eixo de rotação do cilindro ou estão

localizados próximos a ele. Portanto, o diagrama da figura 25 representa as forças atuantes no sistema:



**Figura 25: Diagrama de forças atuantes no sistema**

A equação de movimento resulta em:

$$T - \sum F_i \cdot d_i - Fat = I \cdot \ddot{\theta} \quad (4)$$

Visto que o cilindro não deve girar muito rápido para que a leitura do código de barras possa ser efetuada com sucesso, considera-se que uma velocidade angular de aproximadamente meia rotação por segundo como sendo satisfatória. O efeito de aceleração do cilindro não é crucial para o funcionamento da máquina, porém será fixado um valor mínimo para o dimensionamento. Para esta aplicação, o cilindro deve acelerar do repouso até a velocidade ideal de meia rotação por segundo em no máximo 1 segundo. Então obtém-se:

$$\ddot{\theta} = \frac{\pi \text{ rad/s}}{1 \text{ s}} = \pi \text{ rad/s}^2 \quad (5)$$

Calculando-se o torque necessário, desprezando-se a força de atrito devido à presença de rolamentos, tem-se:

$$T = I \cdot \ddot{\theta} + \sum F_i \cdot d_i \quad (6)$$

$$T = 1,16 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \frac{\pi}{\text{s}^2} + 10 \text{ N} \cdot 0,05 \text{ m} + 4,71 \text{ N} \cdot 0,07 \text{ m} + 2,07 \text{ N} \cdot 0,07 \text{ m} + 2,5 \text{ N} \cdot 0,08 \text{ m} \quad (7)$$

$$T = 5,37 \text{ N} \cdot \text{m}$$

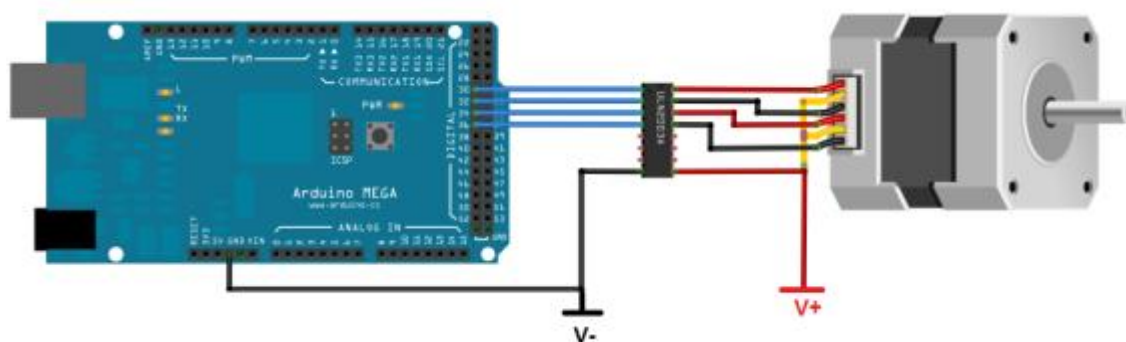


Desta maneira, com o catálogo da Kalatec em mãos, escolheu-se o motor modelo KML02-F07 que apresenta torque de 6N.m.

Por fim, abaixo apresenta-se a ligação a ser feita na placa Arduino e os componentes necessários para o acionamento correto do motor.

- Componentes necessários:
  - 1x Arduino Mega;
  - 1x CI ULN2003A;
  - 1x Motor de passo KML02-F07.

Neste caso utilizaremos o controle de 4 pinos: 34, 35, 36 e 37. O CI ULN2003A é composto por vários transistores que são encarregados por entregar uma tensão e corrente maiores que a placa Arduino é capaz. Para tal tem-se o auxílio de uma fonte externa.



**Figura 26 : Esquema da ligação elétrica do motor de passo**

### 3.4.2.3 Tela LCD

A tela escolhida para a RVM é o Display LCD 16x02 HD44780, devido ao seu baixo custo.



**Figura 27: Tela LCD 16X02 HD44780**

As telas LCDs possuem uma interface paralela, e por isso o controlador deve manipular diversos pinos simultaneamente. A interface consiste dos seguintes pinos:

- Pino “*register select*” (RS): controla o local da memória do LCD a receber informações. Pode-se selecionar tanto “*data register*”, que trabalha com as informações que devem ser exibidas na tela, ou a “*instruction register*”, que é onde o controlador da tela procura por próximas instruções.
- Pino “*read/write*” (R/W): seleciona modo de leitura ou escrita;
- Pino para ativar a escrita nos registradores;
- 4 pinos de informação: o estado de cada um deles (high ou low) corresponde aos bits a serem enviados.
- Pino de contraste do display (Vo);
- Pinos de alimentação (+5V e GND);
- Pinos da luz de fundo da tela (Bklt+ e Bklt-);
- Componentes necessários:
  - 1x Arduino Mega;
  - 1x tela LCD (compatível com o driver Hitachi HD44789);
  - 1x potenciômetro 10kOhms;

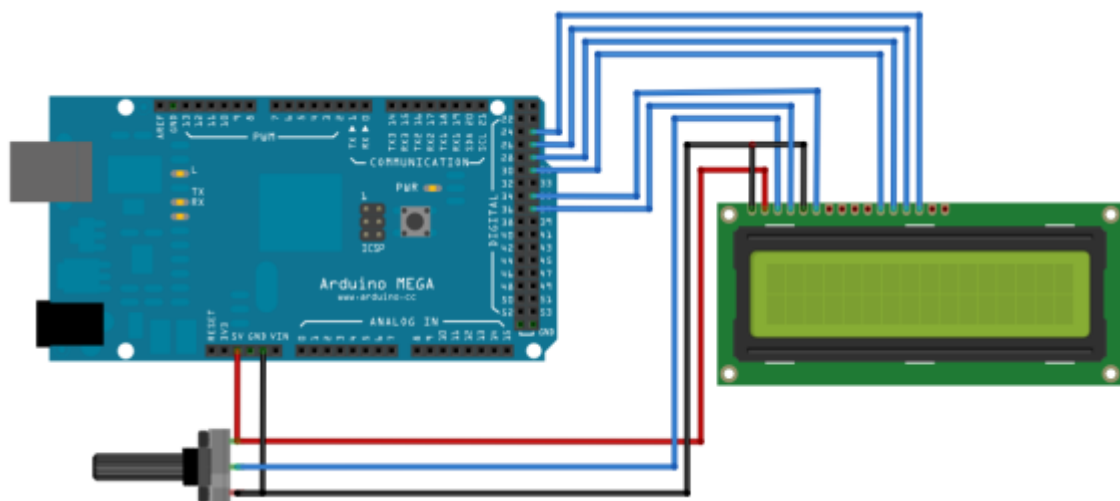


Figura 28: Esquema da ligação elétrica da tela LCD

#### 3.4.2.4 Leitor de código de barras

Para a comunicação do leitor de código de barras com o Arduino, se faz necessário o uso de uma placa USB Host Shield 2.0 em cima do Arduino Mega (ver seção 3.4.2.9). A comunicação ocorrerá através dos pinos 11 e 12.

#### 3.4.2.5 Sistema de travamento da porta do cilindro girante

Para o sistema de travamento da porta do cilindro girante, dois solenóides serão utilizados, e o esquema elétrico para seu acionamento é mostrado abaixo.

- Componentes necessários:
  - 1x Arduino Mega;
  - 2x Solenóides com retorno por mola;
  - 1x resistor 1kOhm;
  - 1x transistor;
  - 1x diodo tipo Schottky;
  - Fonte externa.

Devido ao alto consumo de corrente por parte dos solenóides quando ativados, a alimentação não pode ser provida pela placa. Por isso necessita-se de uma fonte externa que será ativada com a saída digital do pino 33 através de um transistor.

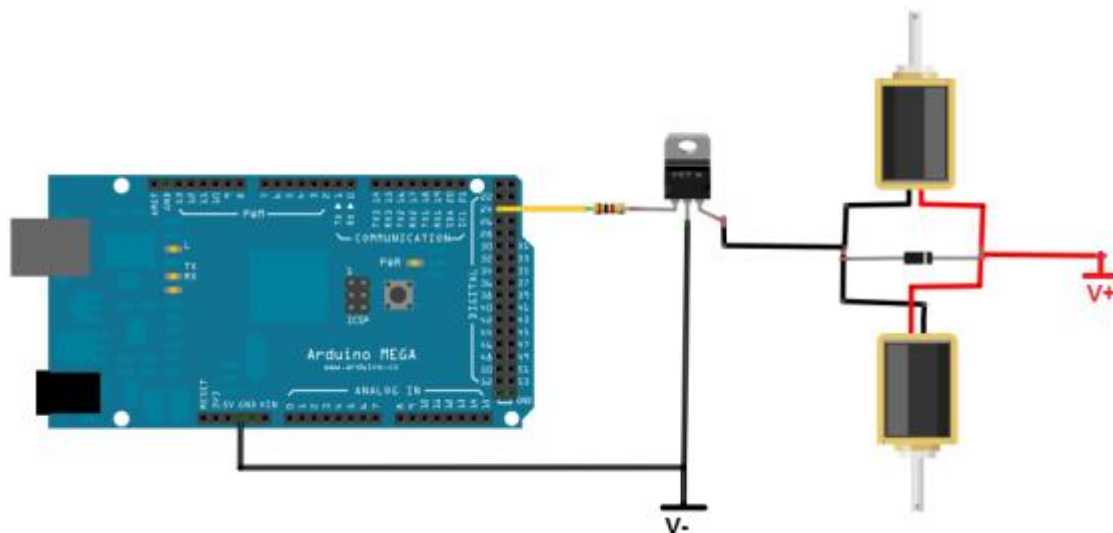


Figura 29: Esquema de ligação elétrica dos solenóides

### 3.4.2.6 Sensores de segurança

Um sensor de segurança deverá ser posicionado na abertura de inserção de embalagens. Ele deve ser responsável por evitar que mais de uma embalagem seja inserida na máquina por vez. Ou seja, durante o processo de leitura de código de barras e seleção, o sensor deve perceber qualquer objeto que seja posicionado na abertura, e caso isto ocorra, todos os processos devem ser pausados e um sinal sonoro/visual deve ser emitido avisando o usuário de que apenas uma embalagem deve ser inserida por vez.

- Componentes necessários:
  - 1x Arduino Mega;
  - 1x Sensor LDR;
  - 1x Resistor dependente de luz;
  - 1x resistor 10kOhms

Devido ao comportamento particular da célula LDR, cuja resistência varia conforme incidência de luz, uma entrada analógica será utilizada para análise do sinal gerado, no caso a entrada do pino 0.

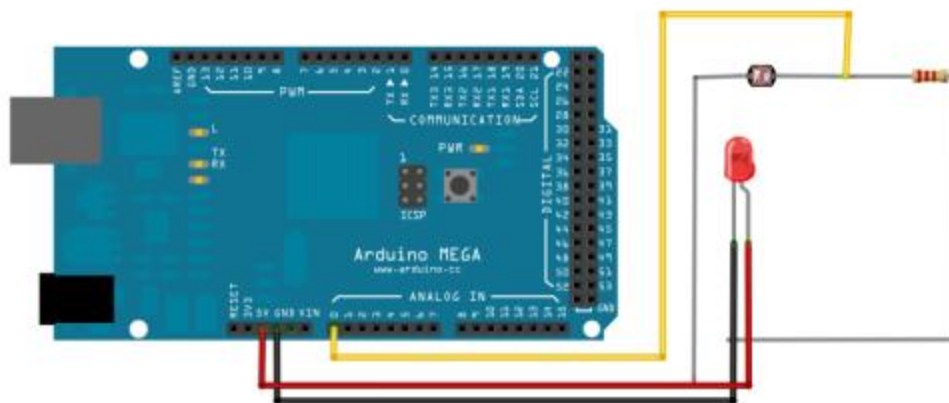
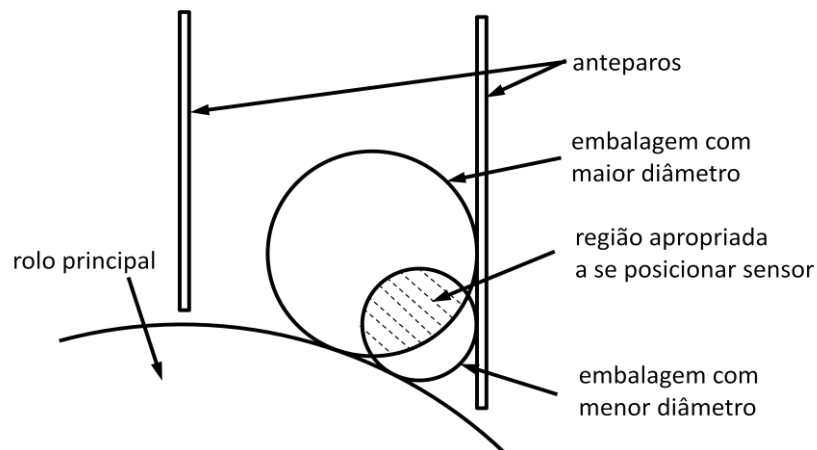


Figura 30: Esquema de ligação elétrica do sensor de segurança

O sensor para detecção de objeto dentro da máquina será baseado também em LDR e um apontador laser. Logo que algum objeto impedir que o raio laser chegue ao resistor, este apresentará uma mudança no valor de sua resistência e através de um circuito simples, poderá se medir a diferença de tensão (ver projeto elétrico completo na seção 4.1.9). O apontador laser será posicionado de tal forma que seu feixe de luz fique paralelo aos

anteparos e à superfície do cilindro. É imprescindível que todas as embalagens, independentemente de seus diâmetros, bloqueiem a passagem do feixe de luz quando dentro da máquina para que assim possam ser reconhecidas pelo sensor. Para tal, o feixe de luz deve estar posicionado dentro da região ilustrada na figura 31.



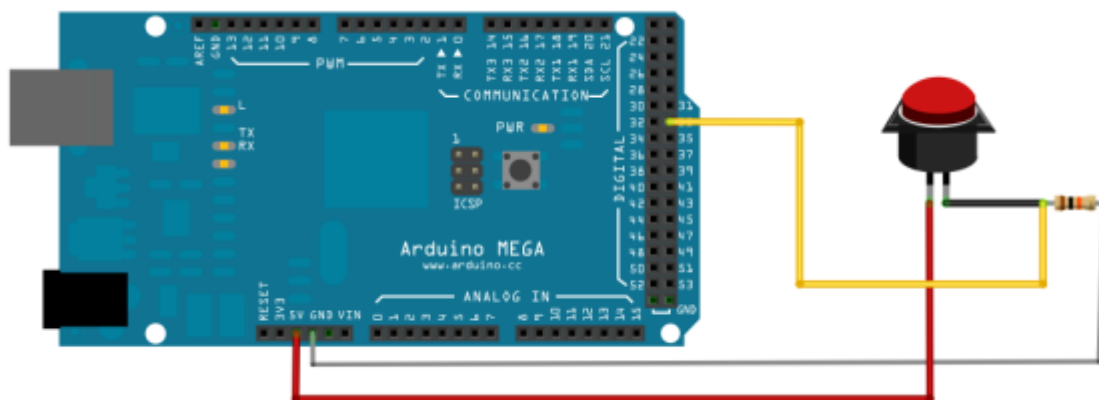
**Figura 31: Região que o sensor óptico deve abranger**

#### **3.4.2.7 Botão “Finalizar”**

Uma vez apertado o botão “Finalizar”, o sistema deverá terminar o ciclo de reconhecimento que estiver inicializado, e então finalizar o processo, imprimindo o ticket ao usuário.

- Componentes necessários:
  - 1x Arduino Mega;
  - 1x Botão;
  - 1x Resistor 10kOhms

A entrada digital será a porta numero 22.

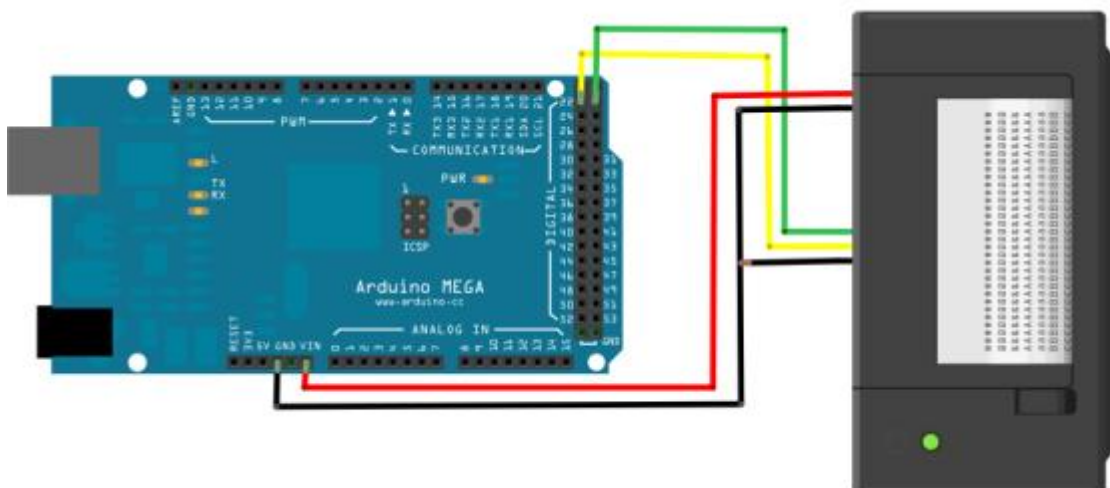


**Figura 32: Esquema de ligação elétrica do botão "Finalizar"**

### 3.4.2.8 Impressora Térmica

- Componentes necessários:
  - 1x Arduino Mega;
  - 1x impressora térmica A2 Micro Pannel

A impressora selecionada interage através de uma comunicação serial com o Arduino. O que normalmente significaria trabalhar com as portas 0 e 1, mas caso procedesse deste modo, qualquer dado enviado para estas saídas terminais seria impresso, e este tipo de comportamento não é desejado para esta aplicação. Portanto será utilizada uma biblioteca apropriada para manter estes pinos livres. E ao invés deles, se utilizará os pinos 25 e 26.



**Figura 33: Esquema de ligação elétrica da impressora térmica**

### 3.4.2.9 Circuito elétrico completo

Sabendo-se a ligação dos dispositivos necessários na placa controladora para o funcionamento da RVM na placa controladora, imagem a seguir mostra o circuito elétrico completo, com exceção apenas da placa *USB host shield*, que não está disponível na biblioteca do software utilizado para o projeto do circuito. A placa deve ser acoplada na superfície superior da placa Arduino e a comunicação deverá ocorrer através dos pinos 11 e 12. O circuito encontra-se na figura 34.

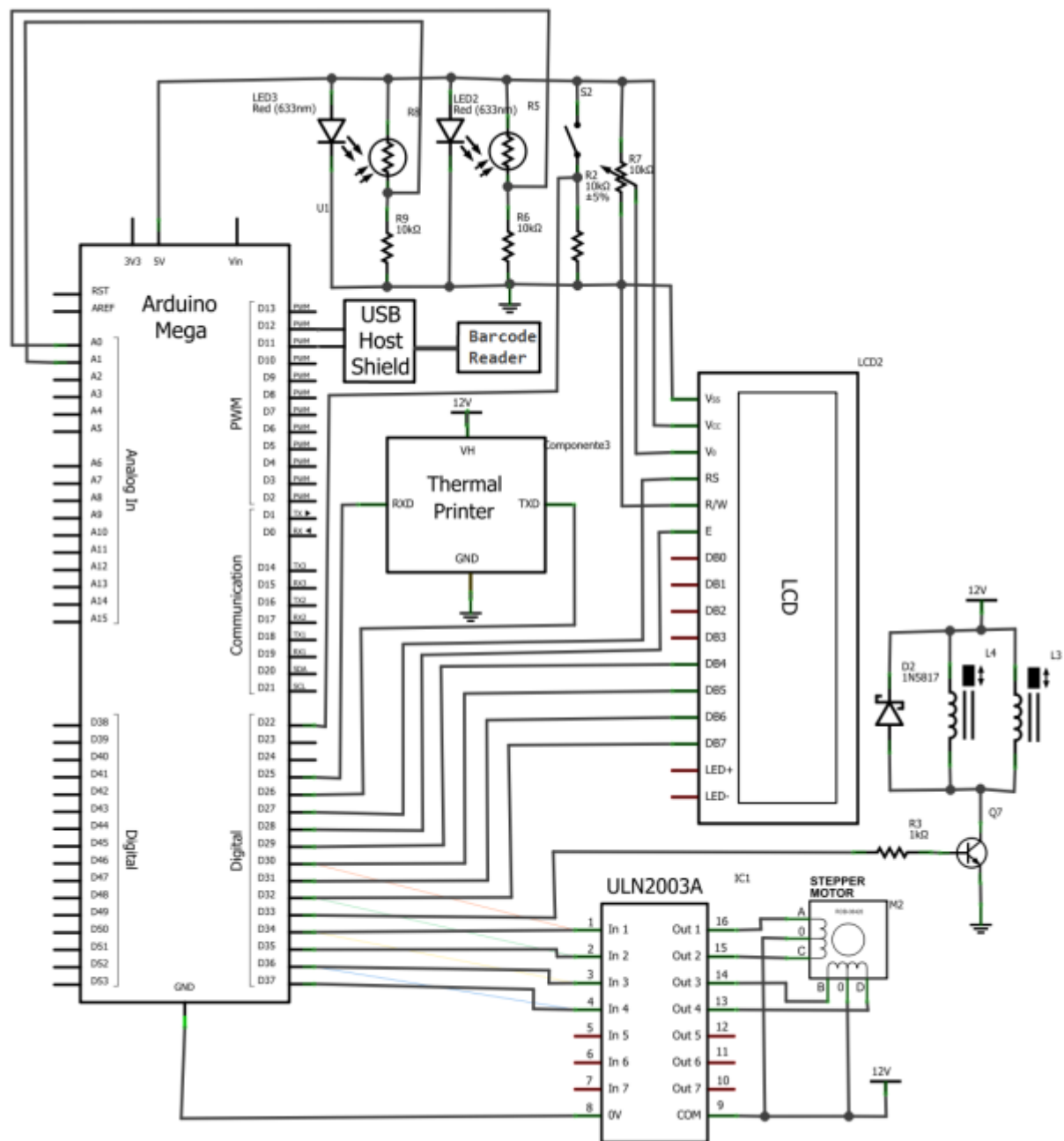


Figura 34: Circuito elétrico completo da RVM

### 3.4.3 Projeto de Software

Inicialmente foi construído o diagrama de casos de uso, com as ações possíveis de cada ator do sistema (figura 35).

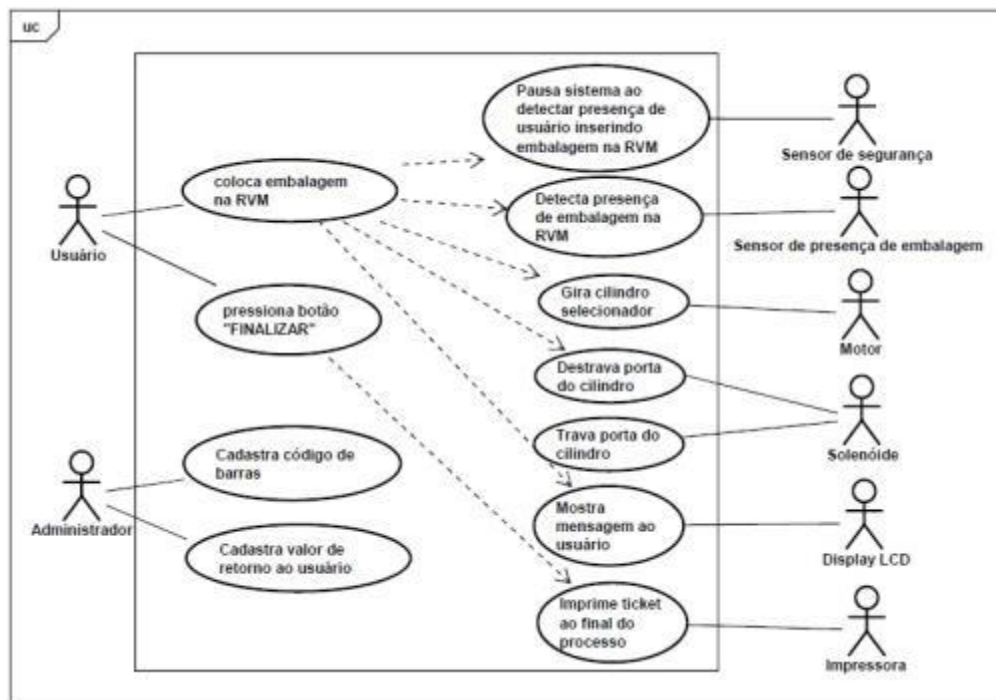


Figura 35: Diagrama de Casos de Uso

O controle da máquina está concentrado em um só componente, o Controlador RVM, simplificando assim o sistema de software, como se pode observar no Diagrama de Componentes (figura 36).

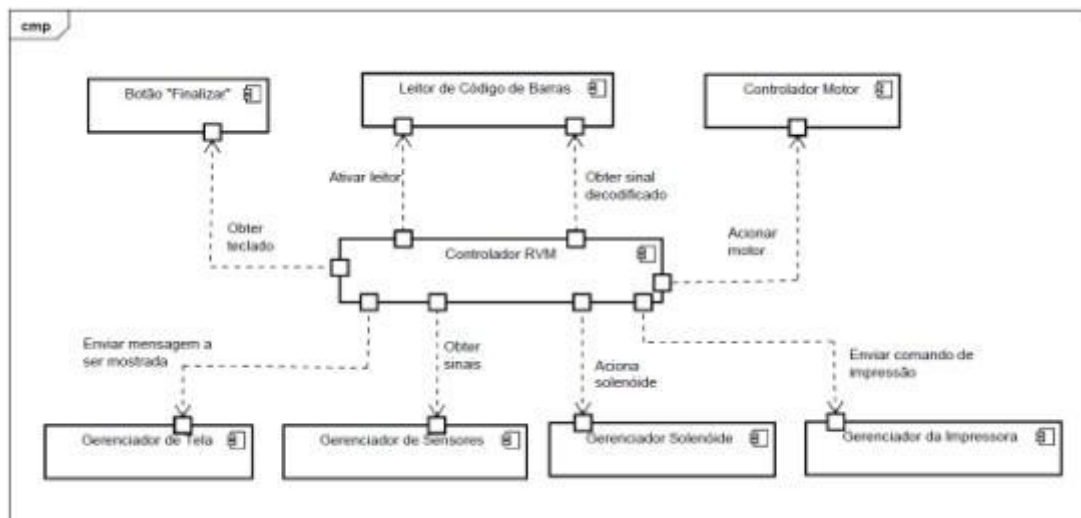
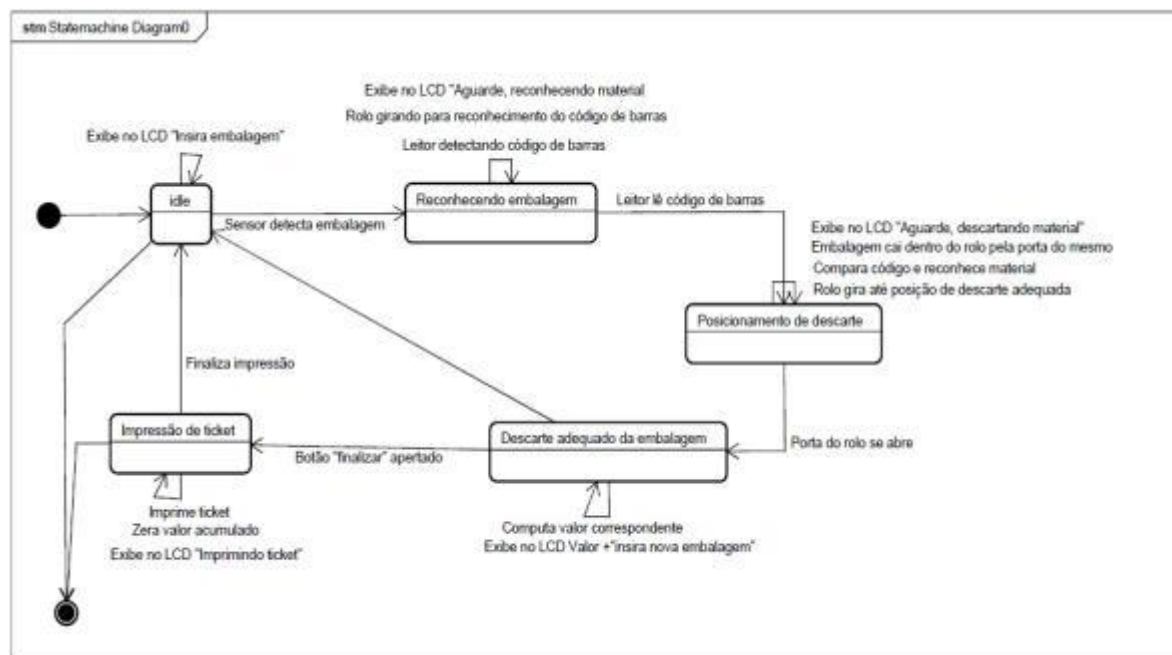


Figura 36: Diagrama de Componentes

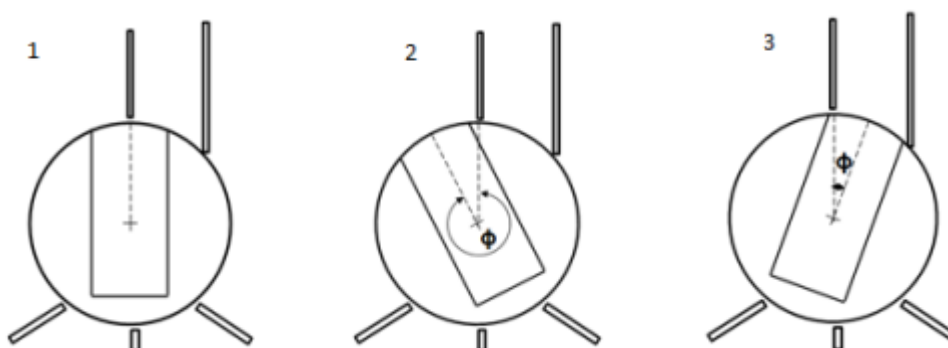


Um diagrama de estados simplificado, no formato UML é mostrado na figura 37.



**Figura 37: Diagrama de Estados**

Inicialmente, a máquina encontra-se em estado de espera, ou seja, está pronta para receber embalagem. Logo que o sensor interno acusa embalagem no compartimento de recebimento, inicia-se o processo de leitura do código de barras. Primeiramente o cilindro girante começa a se movimentar em sentido horário para que a superfície completa da embalagem possa ser varrida pelo leitor a fim de possibilitar a leitura do código de barras.



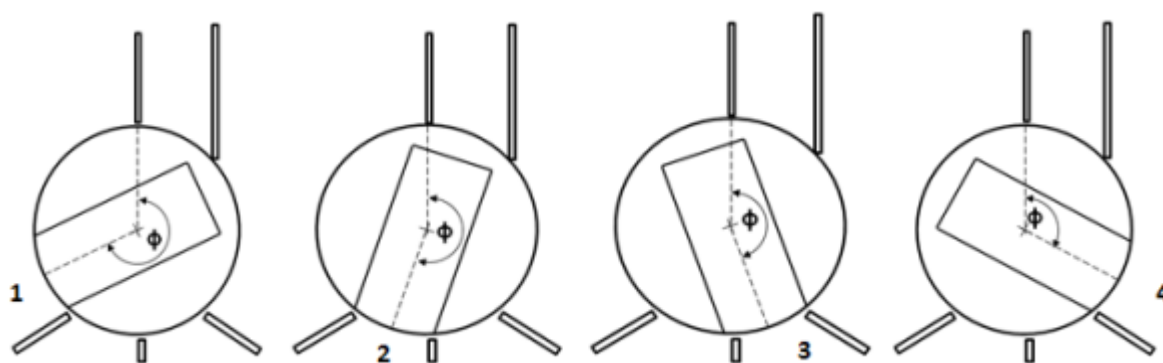
**Figura 38: 1- Posição de referência; 2- posição limite de rotação; 3- Posição de recebimento de embalagem**

Neste ponto, temos dois cenários: durante a rotação em sentido horário, o leitor lê um código válido, e então continua a girar até que a embalagem caia na abertura de

recebimento (esta posição é chamada de posição de recebimento e é ilustrada na figura 38.3).

Ou, dependendo do diâmetro da embalagem e da posição inicial do código de barras, é possível que o código de barras não seja corretamente posicionado para o leitor antes de se atingir a posição limite de rotação (ver figura 38.2) que é a posição máxima que o cilindro pode girar em sentido horário sem que a posição de recebimento seja atingida. Neste caso, inverte-se a rotação do cilindro principal e este começa a girar em sentido anti-horário. Visto que o diâmetro do cilindro principal foi dimensionado de tal forma que uma revolução completa do cilindro com certeza implicará em uma revolução completa mesmo para a maior embalagem a ser aceita, o cilindro deverá girar, independentemente do fato da leitura do código de barras ser efetuada com sucesso ou não, até a posição de recebimento.

Recebida a embalagem, a porta é então travada. O cilindro então deverá se posicionar de acordo com o material da embalagem. Se esta for de PET, deve rotacionar no sentido horário até a posição de descarte designada para o PET, o mesmo acontece para o caso da embalagem ser de alumínio e vidro (figura 39). Caso a leitura não tenha sido efetuada com sucesso, ou o código não for válido, o cilindro deve se posicionar para a posição de refugo, onde a embalagem será devolvida ao usuário.



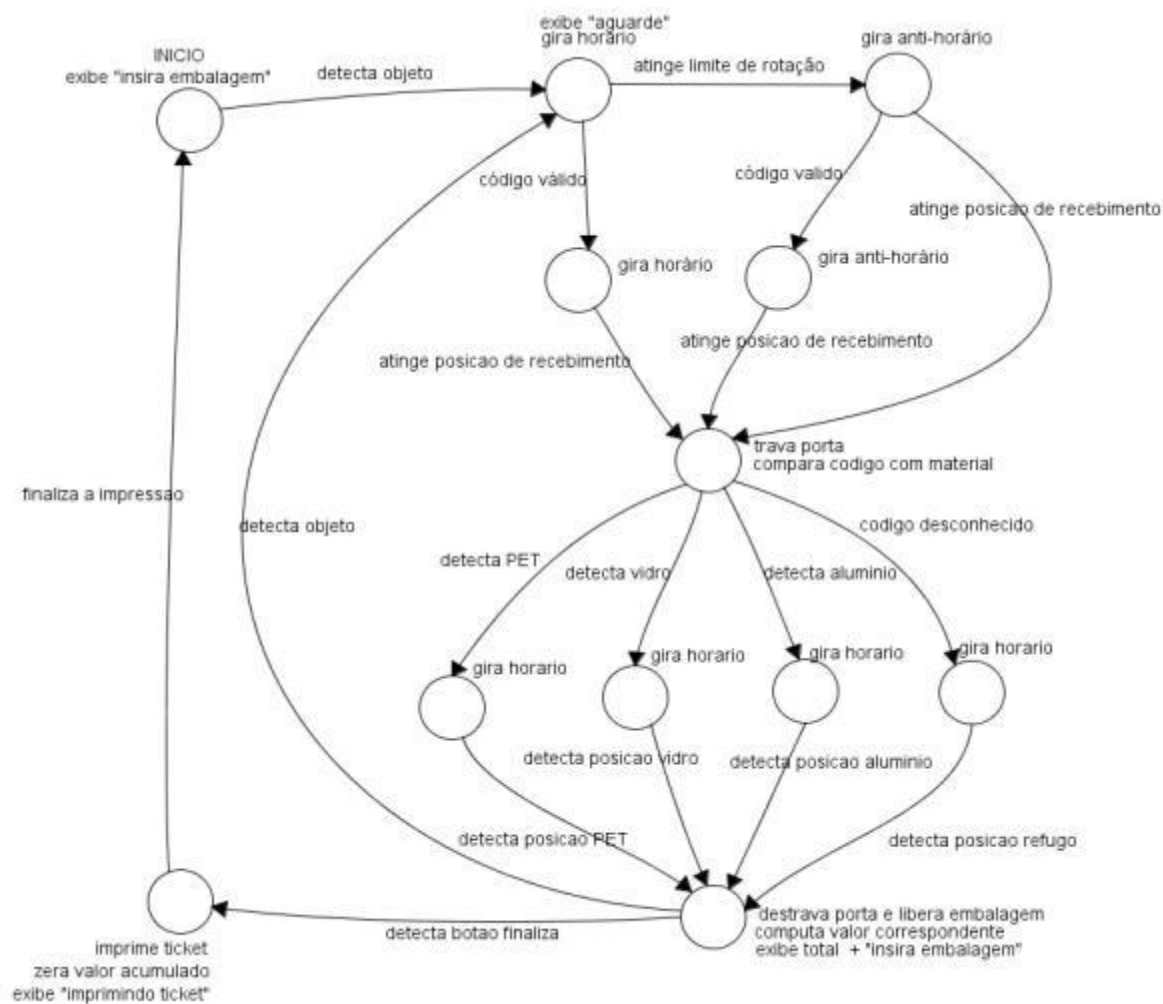
**Figura 39: 1- Descarte do PET; 2- Descarte do Alumínio; 3- Devolução; 4- Descarte do vidro**

Após o posicionamento correto, a porta é então destravada, o valor correspondente é computado e o valor total é exibido na tela LCD.

O usuário pode optar por inserir outras embalagens e o processo se inicia novamente, a partir da leitura, ou o usuário pode apertar o botão finaliza, e então um ticket é impresso com o valor total e devolvido ao usuário.

Durante todo o processo, caso o sensor de segurança detecte qualquer objeto na abertura de inserção de embalagens, o processo pára por completo e emite uma mensagem de erro no visor. Assim que o objeto for retirado o processo continua normalmente a partir do ponto que foi interrompido. Para manter uma melhor visibilidade da máquina de estados, todos os estados em que o sensor de segurança é ativado e o processo é pausado foram omitidos.

Na figura 40 abaixo observa-se o fluxograma completo dos estados possíveis da RVM.



**Figura 40: Diagrama de Estados detalhado**

### **3.5 Revisão de Projeto**

Ao fim da primeira etapa da metodologia em espiral, algumas conclusões podem ser citadas com relação a cada parte do projeto e os requisitos de projeto.

Devido a uma série de restrições impostas, desenvolveu-se o projeto mecânico objetivando-se sempre a solução mais simples de ser implementada, com o intuito de se evitar futuros problemas relacionados à fabricação, construção e implementação, além dos custos envolvidos. Portanto, tem-se como resultado do projeto mecânico, um sistema com simplicidade de construção, baixa complexidade de mecanismo e baixo custo de fabricação. Existem, porém pontos com potencial de melhoria que podem ser considerados no decorrer da segunda etapa deste projeto. Como exemplo, pode-se dimensionar melhor o sistema para aumento da capacidade de armazenamento de embalagens, a fim de diminuir o intervalo de tempo necessário entre o esvaziamento dos compartimentos.

Do mesmo modo, o projeto elétrico apresenta relativa simplicidade. Isso se deve principalmente à escolha do Arduino como placa controladora. Por ser amplamente utilizada, pode se encontrar subsistemas prontos e já testados dos mais diversos tipos. A decisão por utilizar um motor de passo, e consequentemente trabalhar com um sistema de malha aberta, implica em uma menor complexidade se comparada ao uso de um motor DC com encoder (malha fechada). O único ponto a se ressaltar com relação ao projeto elétrico é o alto custo do leitor de código de barras omnidirecional (cerca de 6 vezes maior que um leitor comum). Uma maior confiabilidade do sistema seria possível ser alcançada através do uso de um sensor para se zerar a posição do motor de passo.

O Arduino também possui uma linguagem de programação bem simples se comparada a outras placas controladoras, o que resulta em um projeto de software também de baixa complexidade.

Assim, após o primeiro ciclo de desenvolvimento, constatou-se que ainda existiam margens de melhoria no projeto. Melhorias estas, que foram analisadas mais a fundo e que acarretaram consequentemente as modificações descritas nos itens a seguir.

#### **3.5.1 Projeto Mecânico Revisado**

O projeto mecânico sofreu grandes alterações. A maioria delas são consequência principalmente de uma modificação no sistema de acionamentos. Ao fim do projeto primário eram necessários dois acionamentos para se cumprir todas as funções pré-estabelecidas.

Percebeu-se porém que poderia-se abdicar de um deles sem comprometer a funcionalidade da máquina. Tal modificação bem como todas as outras alterações decorrentes desta primeira atualização no projeto mecânico estão documentadas abaixo.

### **3.5.2.1 Redução de acionamentos**

Como tarefa principal a RVM deve ser capaz de rotacionar a embalagem para que seu código de barras possa ser lido e selecioná-la. Para isso, eram necessários dois acionamentos.

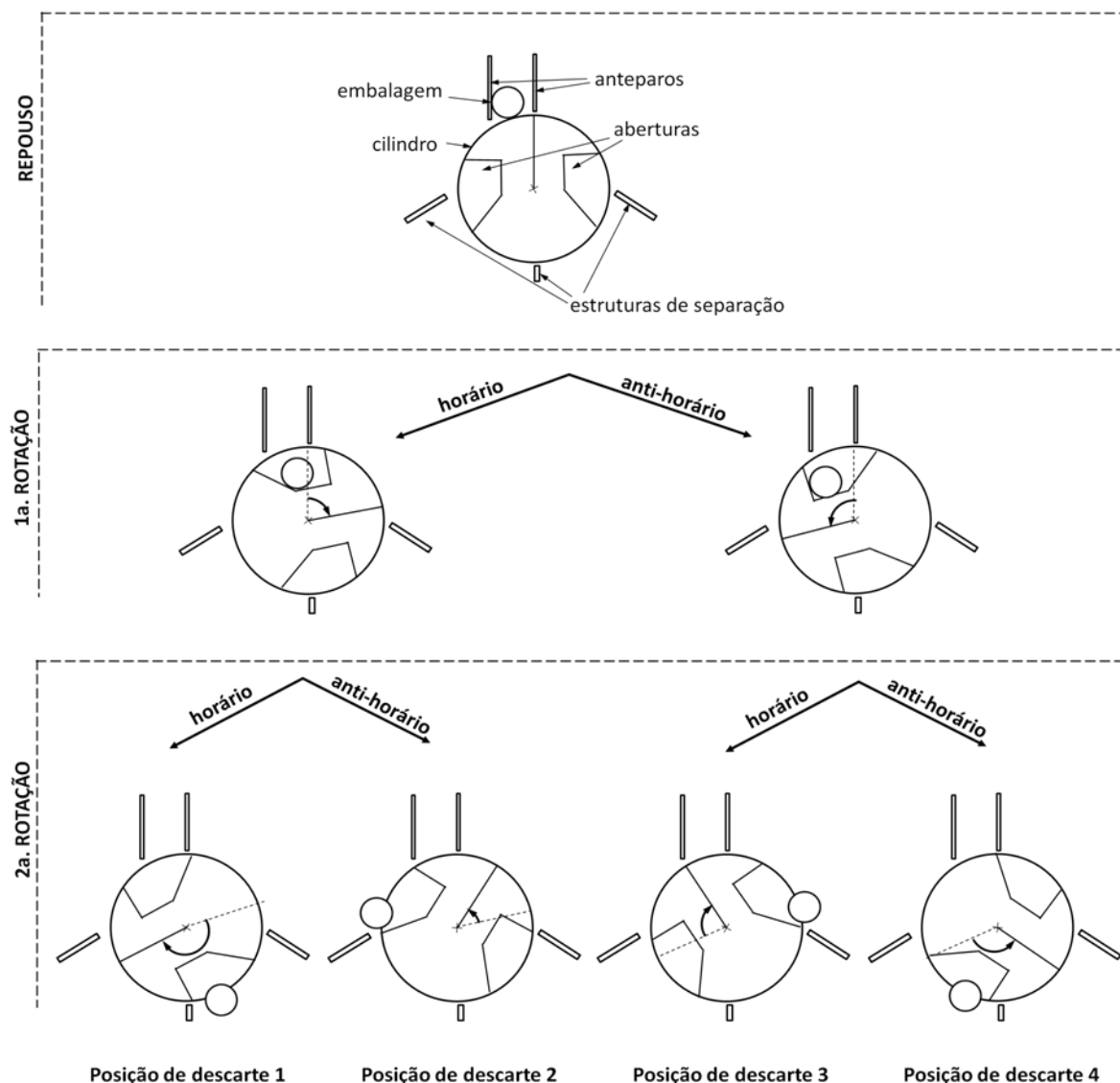
O primeiro acionamento era o motor de passo, responsável primeiramente por girar o cilindro afim de possibilitar uma varredura completa da superfície da embalagem para a leitura de seu código de barras. O motor de passo era responsável também por posicionar a abertura do cilindro para recebimento e também para liberação da embalagem no reservatório correto.

O segundo acionamento era o solenóide, responsável principalmente por travar e destravar a porta da abertura do cilindro, para que assim o motor pudesse posicionar a embalagem na posição correta de descarte sem que a embalagem caísse em reservatórios incorretos.

Porém, através de uma otimização da superfície do cilindro e uma combinação de rotações poderia ser possível abdicar-se do solenóide e utilizar-se apenas do motor de passo.

O princípio básico por trás de tal fundamentação se deve simplesmente à uma combinação de rotação nos dois diferentes sentidos disponíveis: o horário e o anti-horário. Dado um sistema em repouso, pode-se gerar dois destinos distintos ao se adicionar um movimento de rotação. Ao se rotacionar no sentido anti-horário, leva-se o sistema a um destino arbitrário “A” e ao se rotacionar no sentido horário obtém-se outro destino “B”. Considere agora que partindo-se do ponto “A” obtido pode-se adicionar novamente outro movimento de rotação: rotacionando-se no sentido horário chega-se ao destino “A1” e no sentido anti-horário no destino “A2”. O mesmo ocorreria com o ponto “B” gerando destinos “B1” e “B2”.

Esta combinação de rotações aliada a uma superfície otimizada do cilindro geram um novo mecanismo de seleção com quatro destinos. A figura 41 ilustra este funcionamento.



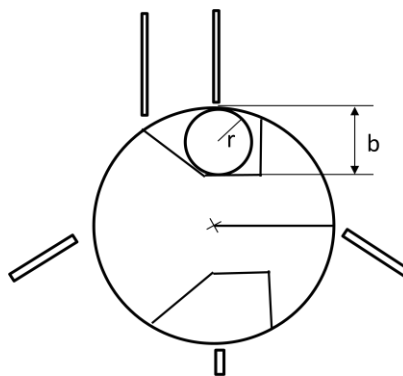
**Figura 41: Projeto mecânico revisado de descarte das embalagens após reconhecimento**

### 3.5.2.2 Recálculo do diâmetro do cilindro

Para se redimensionar o diâmetro do cilindro, utilizou-se as mesmas restrições vigentes no projeto primário.

#### I. Restrição nº1

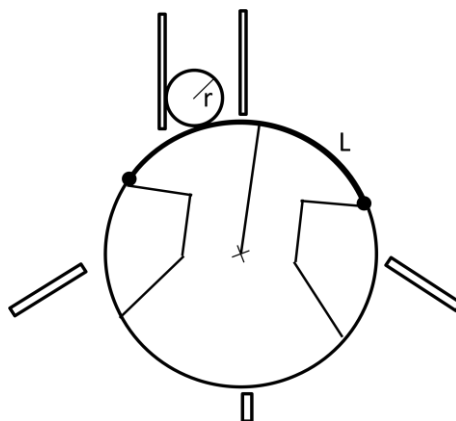
O cilindro girante deve possuir uma abertura que possibilite a recepção da maior embalagem a ser aceita, isto é, a embalagem PET 3L com diâmetro de 150 mm. Ou seja,  $b > 2r$  (figura 42), o que implica que a profundidade da abertura seja de no mínimo 150 mm.



**Figura 42: Variáveis de cálculo para abertura do cilindro**

#### I. Restrição nº2

Considerando que o código de barras da embalagem inserida deve ser posicionado ao menos uma vez dentro do campo de leitura do leitor, é necessário garantir que durante o processo de busca pelo código de barras a embalagem sofra pelo menos uma revolução completa. Matematicamente isso significa que  $L > 2 \cdot \pi \cdot r$ , ou seja, para  $r$  igual a 150mm, tem-se que o comprimento de arco  $L$  deve ser maior que 942 mm, conforme figura 43



**Figura 43: Variáveis de cálculo para tornar possível a revolução completa das embalagens**

Quanto menor o cilindro, maior será a economia de material, e menor será seu momento de inércia, requerindo menor potência do acionamento. Portanto, é de interesse o cilindro de menor raio desde que este atenda ambas as restrições. Após uma série de cálculos e chegou-se a um valor ótimo para o diâmetro no valor de 400 mm

#### 3.5.2.3 Acoplamento

Para a transmissão de potência do motor de passo para o cilindro optou-se pelo uso de correias sincronizadoras. Acoplamentos deste tipo requerem menor exatidão de posicionamento, tanto do eixo do cilindro como também do eixo do motor, incorrendo

portanto custos menores de fabricação e montagem. Com o uso de correias pode-se também aumentar o torque em troca de redução de velocidade através de uma seleção apropriada de polias. No caso deste projeto, onde não há a necessidade de se rotacionar o cilindro com altas velocidades, decidiu-se por utilizar uma polia de eixo do motor de 20 dentes e uma polia de eixo do cilindro de 84 dentes, ou seja, diminuiu-se a velocidade por um fator 4 e aumentou-se o torque pelo mesmo fator. A correia sincronizadora utilizada apresenta passos de 3 mm.

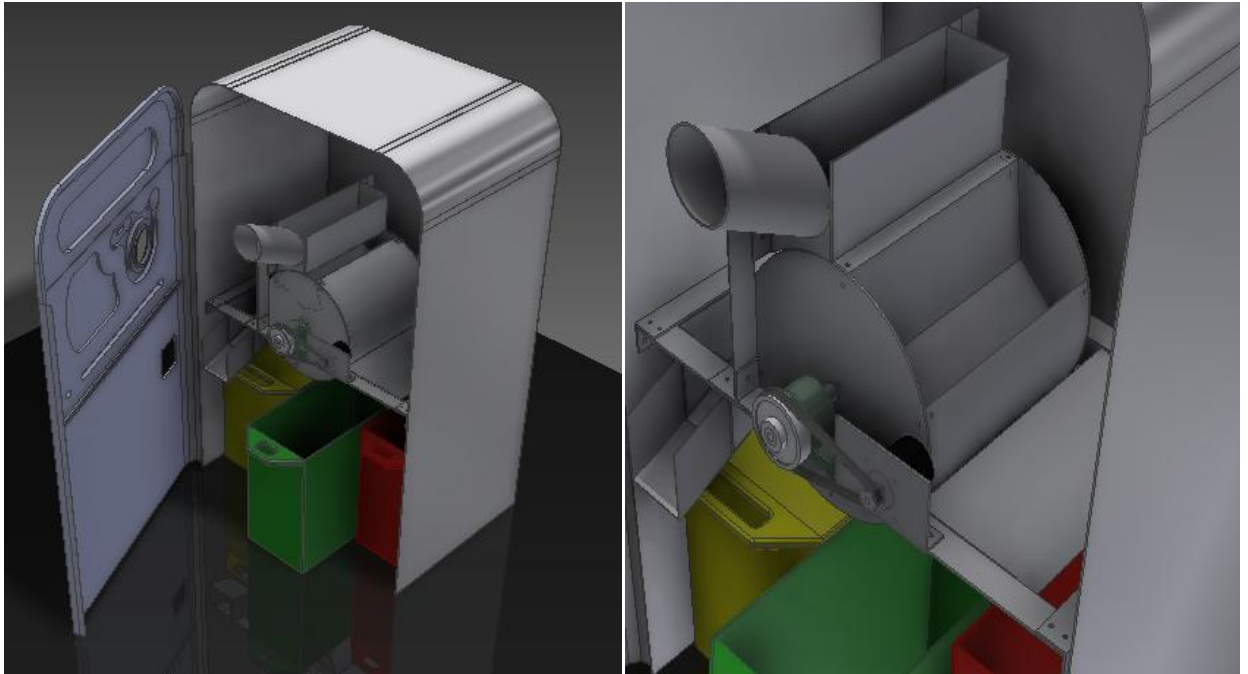
#### **3.5.2.4 Modelo em CAD do projeto mecânico revisado**

A seguir encontram-se os desenhos feitos em CAD do projeto mecânico revisado

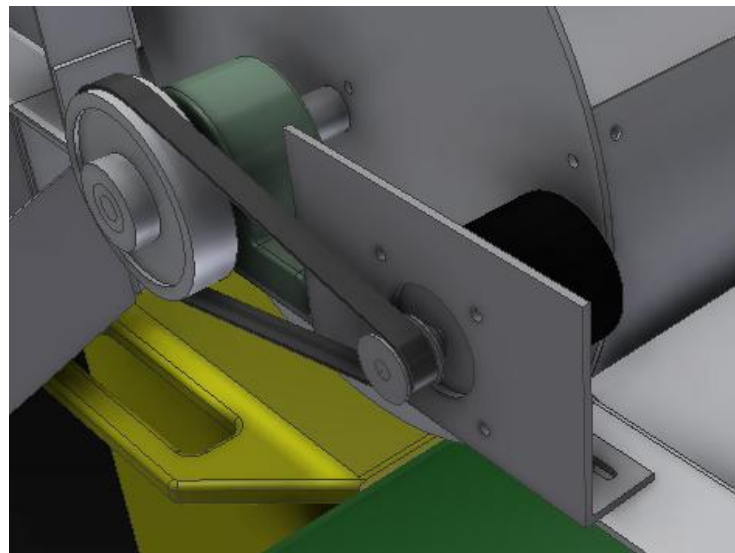


**Figura 44: Vista externa em CAD da RVM**

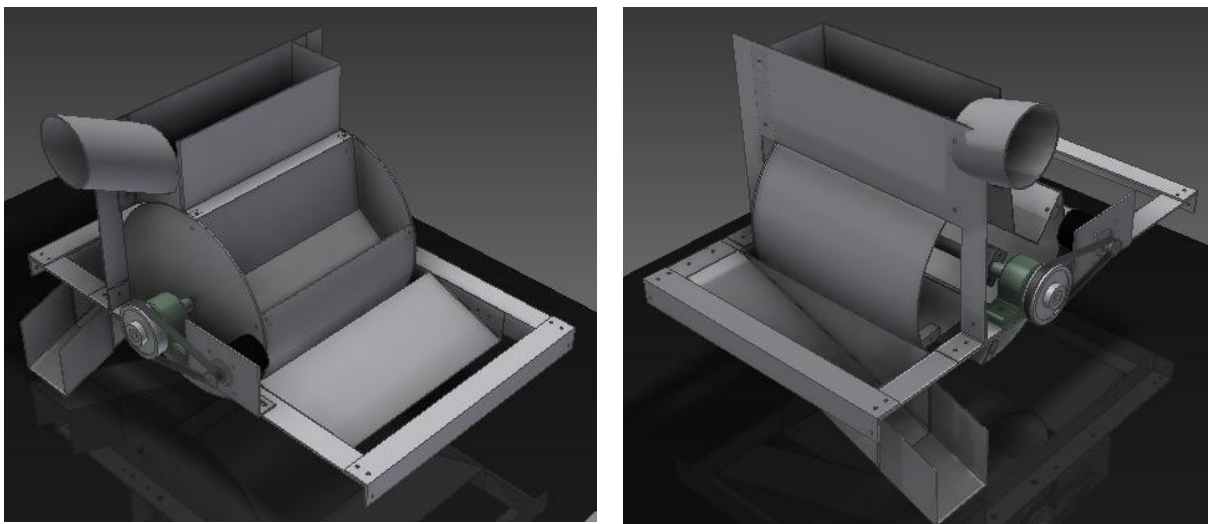




**Figura 45: Vista interna da RVM**



**Figura 46 Sistema de acionamento**



**Figura 47: Detalhe do projeto mecânico da RVM**

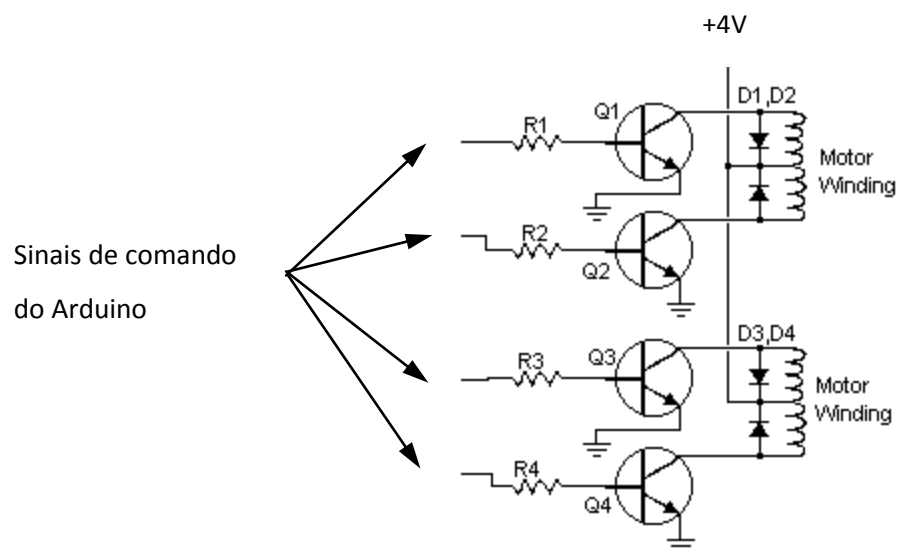
### **3.5.2 Projeto Elétrico Revisado**

Neste segundo ciclo de desenvolvimento o projeto elétrico também sofreu alterações. Alterações estas decorrentes tanto de mudanças de acionamento, como por exemplo o fato do solenóide não ser mais utilizado, como também alterações relacionadas a aperfeiçoamentos de projeto.

#### **3.5.2.1 Circuito de Potência**

Após realizar alguns testes com o circuito integrado ULN2003a constatou-se que este apresentou superaquecimento, e que para uma operação contínua, outro circuito de potência deveria ser utilizado. Optou-se portanto por se utilizar transistores NPN TIP120 com diodos de proteção 1N5401.

- Componentes necessários:
  - 1x Arduino Mega;
  - 4x Transistores NPN TIP 120;
  - 4x Diodos de proteção 1N5401;
  - 4x Resistores 1kOhm.



**Figura 48:**Circuito utilizado para acionamento do motor

### 3.5.2.2.Circuito elétrico completo revisado

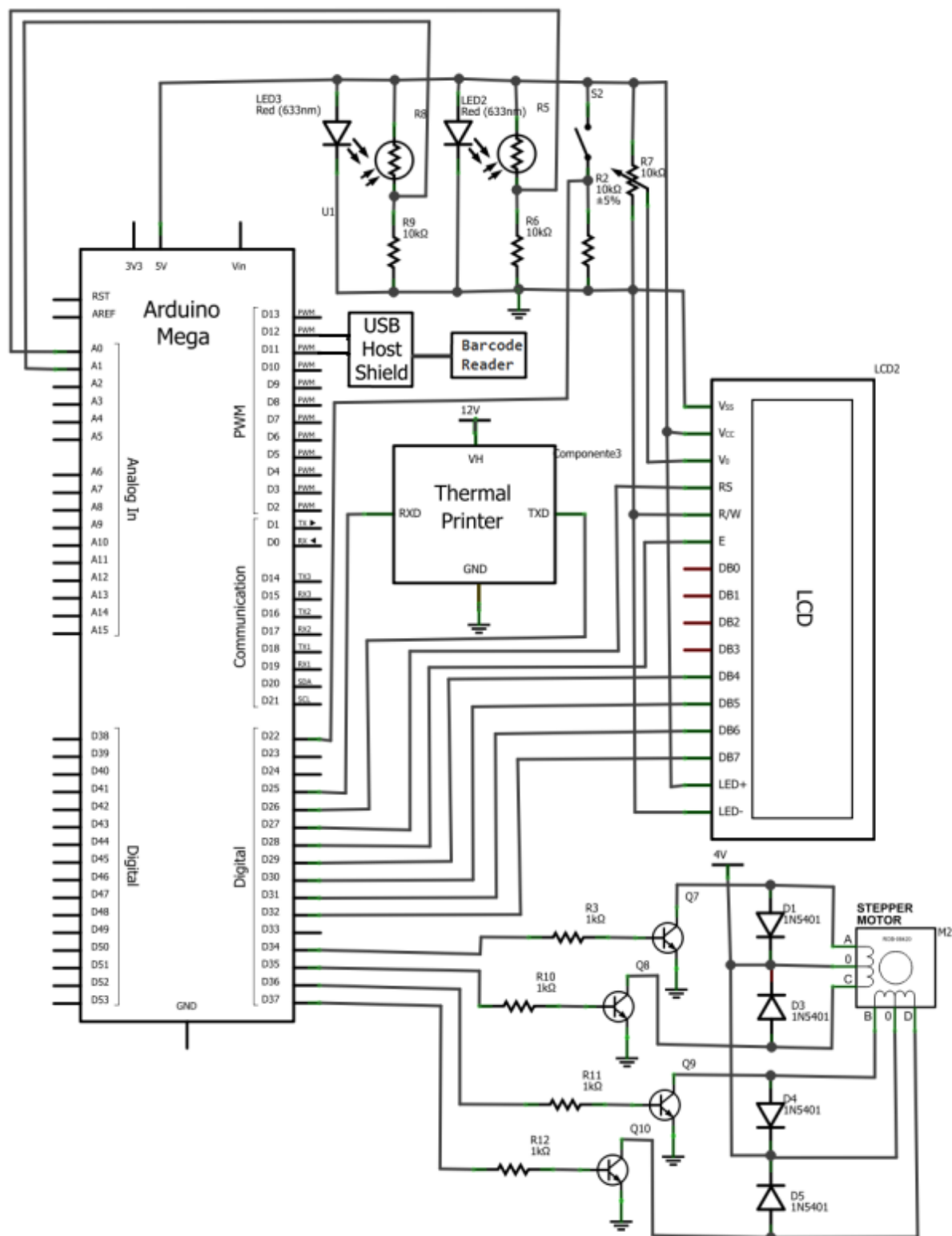


Figura 49:Circuito elétrico da RVM revisado

### **3.5.3 Projeto de Software Revisado**

Dado que o solenóide não será mais utilizado, no espaço de estados, o estado referente à liberação da embalagem através do destravamento da porta não existe mais. O funcionamento de seleção também sofreu mudanças de acordo com a combinação dos sentidos de rotação.

Um estudo sobre algoritmos de busca para a comparação de códigos de barras afim de se identificar o tipo de material também foi incluído.

#### **3.5.3.1 Algoritmo de Busca**

Após a leitura do código de barras ser efetuado com sucesso, deve-se compará-lo com os códigos previamente cadastrados no banco de dados para que seja possível identificar o material da embalagem. Para esta comparação deve-se escolher um algoritmo apropriado de busca. Os dois métodos mais disseminados são a busca sequencial e a busca binária.

A busca sequencial ocorre de maneira linear, ou seja, a comparação ocorre elemento por elemento. Para este modo não é necessário que o banco de dados esteja ordenado. Sua complexidade cresce linearmente com o número de elementos no banco, ou seja, a busca sequencial apresenta complexidade média de grau  $O(n)$ .

Já a busca binária, também conhecida pela dicotomia, apresenta mecanismo diferente. Para que seja possível se utilizar de tal ferramenta, o banco de dados deve estar ordenado. O algoritmo busca então o elemento que divide o grupo em 2 subgrupos iguais e compara se este elemento é maior, menor ou igual ao procurado. Se for menor, pega-se a metade inferior e busca-se o próximo elemento situado na mediana. Ou se for maior, procede-se do mesmo modo e procura-se o elemento situado na mediana superior. Este algoritmo deve ser utilizado até se encontrar o elemento em questão. Sua complexidade média é de grau  $O(\log_2 n)$ .

Para se avaliar a relação custo benefício de se ordenar o banco de dados para se obter um retorno na diminuição do custo de busca, deve-se primeiramente estimar o número de elementos no banco de dados. Os elementos são neste caso códigos de barras cadastrados. Para cada fabricante, produto, tamanho e material da embalagem existe um código de barras distinto. Visto que deseja-se aceitar o maior número de embalagens de bebidas possível – desde que estas sejam de PET, Alumínio ou Vidro, tem-se um número de código de barras no mercado brasileiro imenso. Portanto é de interesse que se utilize a busca binária como algoritmo.

### 3.5.3.2 Diagrama de espaço de estados revisado

Com a nova solução mecânica concebida, certos pontos da lógica de estados foram revistos, e o novo diagrama de estados revisado encontram-se na figura 50.

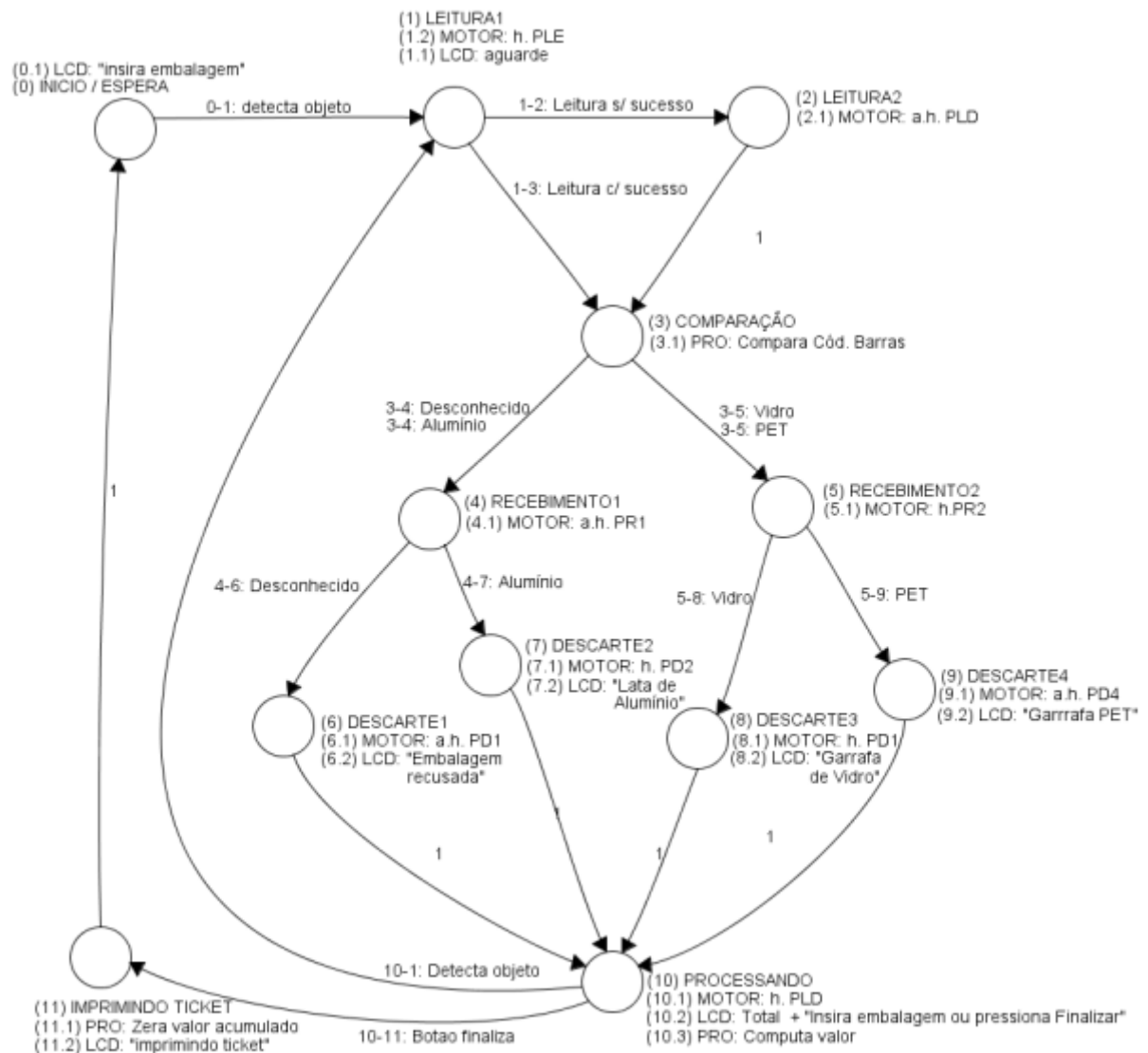


Figura 50: Espaço de estados revisado

## Capítulo 4

### Resultados

#### 4.1 Protótipo

A construção do protótipo foi dividida em duas partes. A primeira é a parte funcional do projeto que foi construída dentro do escopo deste trabalho no departamento de Mecatrônica da Escola Politécnica. A segunda é a parte estética da RVM que foi desenvolvida em parceria com a estudante de design industrial, Ana Carolina Yukari Toyama, da Universidade Estadual Paulista, campus de Bauru.

#### 4.2 Parte Funcional

A parte funcional é constituída principalmente pela implementação do projeto elétrico, de software e parcialmente do projeto mecânico. Apenas os componentes mecânicos necessários para a validação da funcionalidade do projeto foi implementada, pois deu-se importância ao *Minimum Viable Product* (MVP), ou seja, valorizou-se as partes essenciais ao funcionamento do projeto e realizou-se algumas modificações devido à falta de verba disponível.

O leitor de código de barras omnidirecional que possibilita a leitura de código de barras de maneira mais eficiente foi trocado por um leitor de código de barras de apenas uma linha, e a impressora térmica não foi implementada ao protótipo.

#### 4.3 Parte Estética

Esta segunda parte é complementar à primeira. Nela constam atividades como o projeto e construção da parte externa da RVM. Tópicos como estética, ergonomia e alternativas de materiais para a construção do envoltório foram abordados com uma maior profundidade. Esta parte foi desenvolvida, como dito anteriormente, pela estudante de design industrial dentro do escopo de seu trabalho de conclusão de curso.

#### 4.4 Construção do protótipo

Para a construção do protótipo utilizou-se como material principal para a estrutura o alumínio. Este material possui densidade relativamente baixa com relação à outros metais, reduzindo esforços e também apresenta propriedades que facilitam o seu trabalho.

Os desenhos técnicos cotados das peças do protótipo estão no anexo B ao fim deste trabalho.

As principais etapas de usinagem foram realizadas na oficina do departamento de Engenharia Mecatrônica (PMR).

Utilizou-se a serra fita e a guilhotina para os processos de corte de chapas. Como etapas de usinagem seguiram-se furação, rosqueamento, fresamento, torneamento e limagem. Para a conformação utilizou-se o dobramento e a calandragem.

Para a montagem preferiu-se padronizar os elementos fixadores em parafusos M5, com exceção dos locais, onde um fixador com maior dimensão era requisitado, como é o caso dos mancais. As imagens a seguir ilustram esta fase de construção da parte funcional interna.

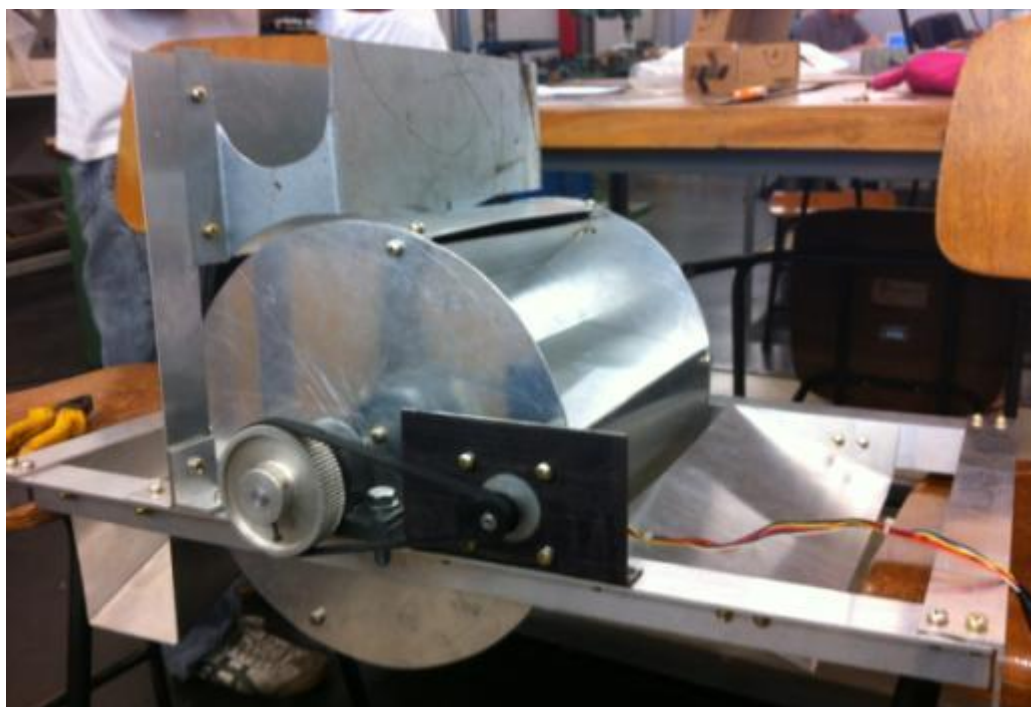
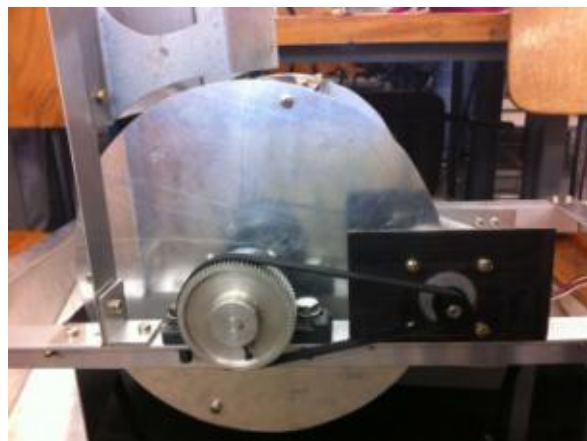
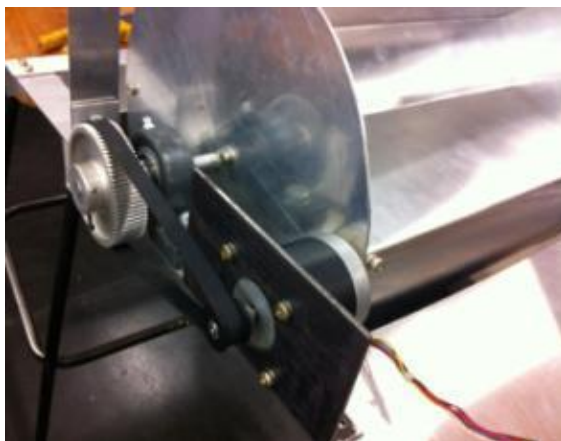
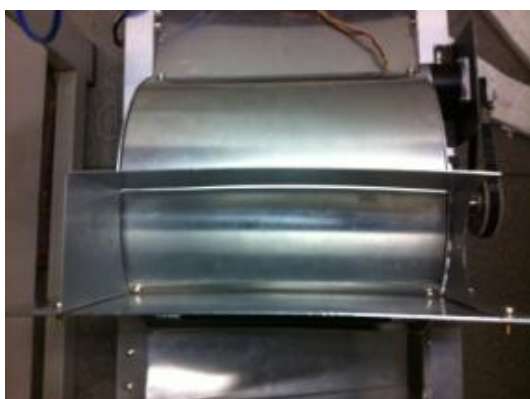


Figura 51: Vista do conjunto inteiro





**Figura 52: Vista focada no acionamento e acoplamento**

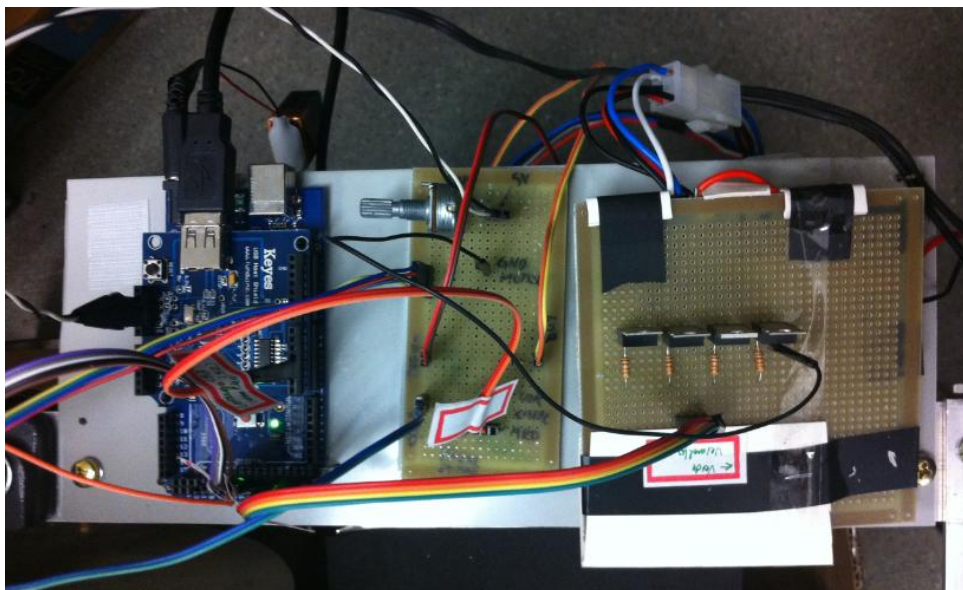


**Figura 53: Detalhes do cilindro e suas aberturas**



**Figura 54: Posicionamento da embalagem**

Com a parte interna funcional pronta, realizada no escopo deste trabalho, e a parte externa moldada por parte da UNESP Bauru, juntou-se ambas as partes. As imagens a seguir ilustram o protótipo final montado e em funcionamento.



**Figura 55: Placa com Arduino acoplado ao USB Host Shield e circuito de potência**

A figura 56 ilustra as interfaces homem-máquina, com o orifício para inserção de embalagens, display LCD e o botão de finalizar. Há também um infográfico e uma fita com informações em Braille para os deficientes visuais.



**Figura 56: Parte externa com interface**



**Figura 57: Display LCD com diferentes informações para o usuário**

#### **4.5 Validação do protótipo**

Com relação à funcionalidade do protótipo, todas as funções propostas foram implementadas e testadas. O sensor de presença, composto por um emissor laser e um resistor dependente de luz, responsável por detectar embalagem inserida funcionou como esperado. A leitura do código de barras e a comunicação via USB com o microcontrolador Arduino apresentaram porém uma performance razoável. Por falta de recursos, escolheu-se um leitor de código de barras com apenas uma direção de leitura, o que reduziu sua efetividade. A comparação do código lido com o cadastrado e o posterior acionamento do motor de acordo com o tipo de material identificado funcionaram satisfatoriamente. A interface com o usuário, através do botão de finalizar e o display LCD também demonstraram funcionalidade completa.

Salvo o ponto relacionado ao leitor de código de barras, obteve-se sucesso nos testes e o mecanismo em questão foi validado.

## 4.6 Análises de Confiabilidade

Analisando-se a árvore de falhas, que pode ser encontrada no Apêndice A desta monografia, relacionada ao evento topo “Operação insegura ao usuário” percebe-se que o evento primário “não interrupção da operação” possui grande probabilidade de ocorrência, pois fora o sensor de segurança na abertura de inserção de embalagens não há nenhum outro mecanismo de segurança. Sugestões para melhorias podem ser: inclusão de sensor na porta da RVM para que caso a parte interna esteja exposta seja para o usuário ou para o operador que realiza manutenções a operação da máquina seja interrompida, preservando assim a integridade de seus usuários. Outra sugestão é incluir-se um sensor adicional em paralelo na abertura de inserção. É importante lembrar que os mecanismos de falha de ambos sensores devem diferir para que uma maior confiabilidade possa ser atingida.

Com relação ao modo de falha “inoperância”, deve-se atentar ao fato de que o projeto carece de meios de reconhecimento de falhas. Até o presente momento não existem sensores capazes de perceber que os componentes imprescindíveis encontram-se em estado de falha. Seria recomendável que tais sensores fossem implementados e que um sistema de alerta fosse adicionado para que a RVM permaneça o menor tempo possível inoperante.

Ao analisar o modo de falha “operação com vibração”, pode-se inferir após alguns testes com o protótipo que o sistema precisa de melhoria na programação do acionamento do motor. Notou-se que o envio de sinais ao motor de passo gera certa vibração na estrutura. Por outro lado, vibração proveniente de falha nos fixadores é menos improvável que ocorra, pois utilizou-se de redundância, havendo uma quantidade de fixadores com um alto fator de segurança.

## Capítulo 5

### Conclusões

Com a construção do protótipo, certas críticas podem ser mais bem desenvolvidas, uma vez que se torna possível observar os pontos positivos e negativos do projeto proposto de RVM neste trabalho.

A solução mecânica simplista, utilizando somente um motor de passo para o acionamento da máquina, mostrou ser uma ótima solução com reduções de custo de fabricação, atendendo bem aos requisitos do projeto. O ponto a ser melhorado seria quanto à leitura do código de barras, já que no modelo de protótipo construído, falhas na leitura do mesmo aconteceram com certa frequência. Contudo, o fator limitante no momento da escolha do método de reconhecimento das embalagens no projeto, e posterior construção do protótipo, foi o recurso financeiro disponível. Se tivesse sido possível a compra de um leitor de código de barras omnidirecional, como consta no projeto, acredita-se que a leitura do código de barras das embalagens teria sido mais assertiva, e as falhas nos testes de leitura menos numerosos, bem como o reconhecimento das embalagens mais rápido, não sendo necessária mais de uma varredura à procura do código de barras nas embalagens incluídas pelo usuário.

Quanto à construção, notou-se que o peso da máquina poderia ter sido reduzido, projetando, por exemplo, mancais menos robustos para o sistema. Contudo, justificou-se a escolha dos mancais presentes no protótipo pela facilidade de obtenção do produto no mercado, além da vantagem ao comprar mancais prontos no que se refere ao tempo disponível dos autores, que não precisou dedicar tal esforço à usinagem destas peças.

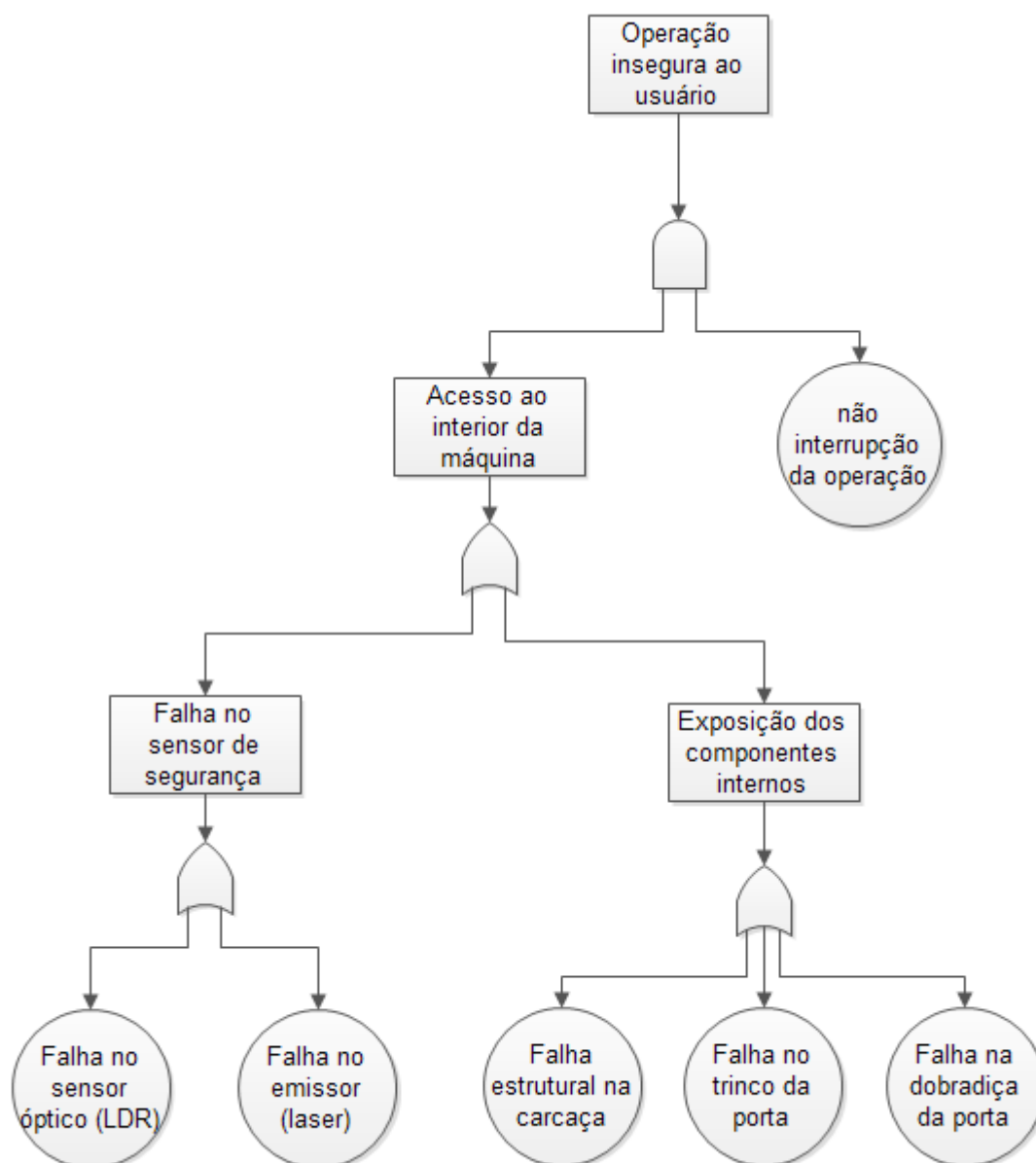
Outro ponto a ser destacado foi o sistema de transmissão, por meio de polias e correia, que atendeu completamente à necessidade de um torque maior do que o fornecido pelo motor de passo à disposição, além de ter facilitado a fixação do motor no sistema. Soma-se a tudo isto, o baixo custo que tal sistema de transmissão representou para o protótipo.

No que diz respeito à parceria com a aluna de design industrial da Universidade Estadual de Campinas, tal parceria trouxe pontos positivos, como agregar valor ao projeto, diversificando as áreas envolvidas e distribuindo tarefas às partes competentes.

## Apêndice A – Análise da Árvore de Falhas

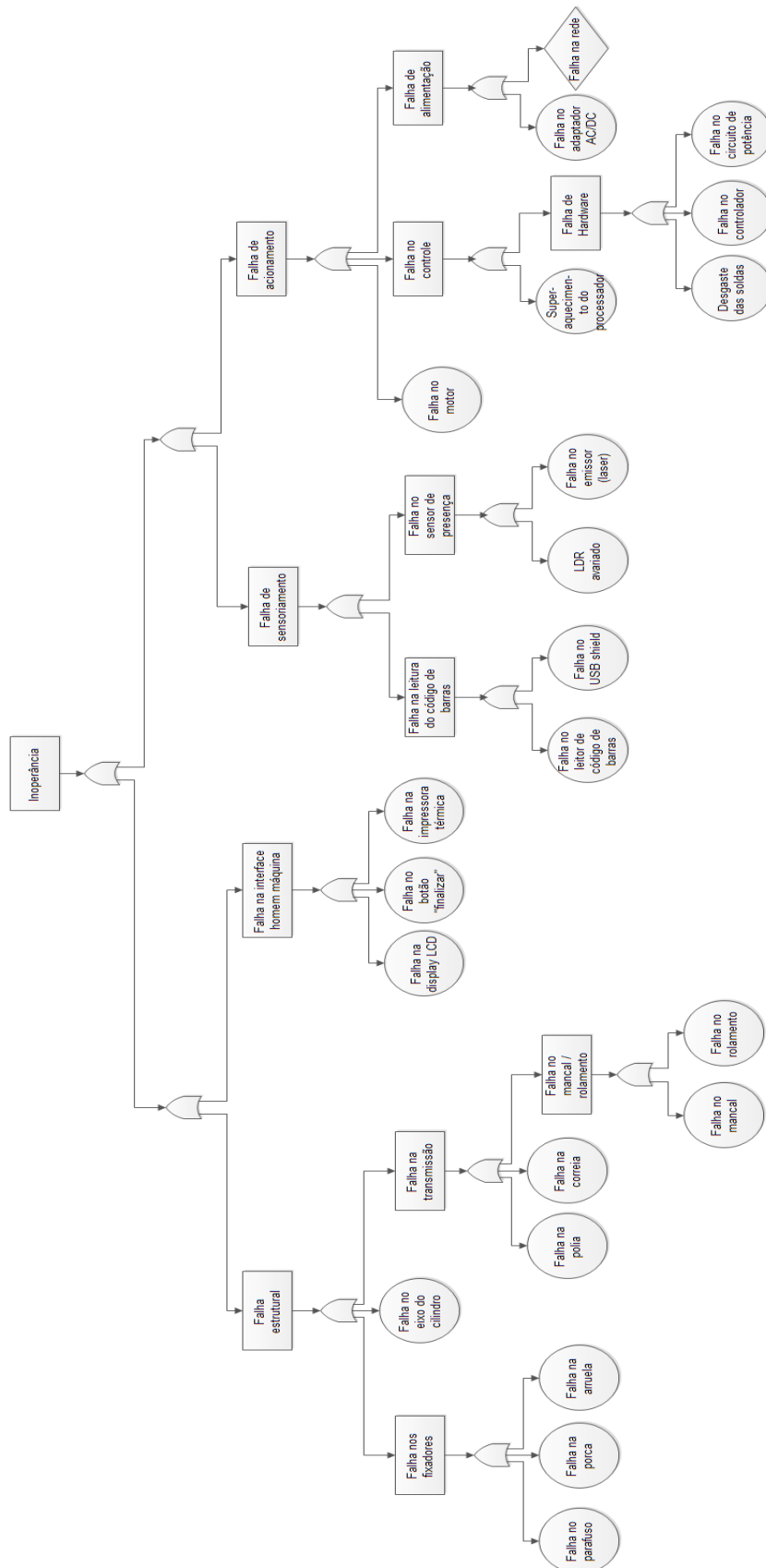
Neste apêndice são apresentadas as árvores de falhas dos três modos principais de falha da RVM. Todos foram desenvolvidos no Software Edraw Max

### A1: Árvore do modo de falha “Operação insegura ao usuário”

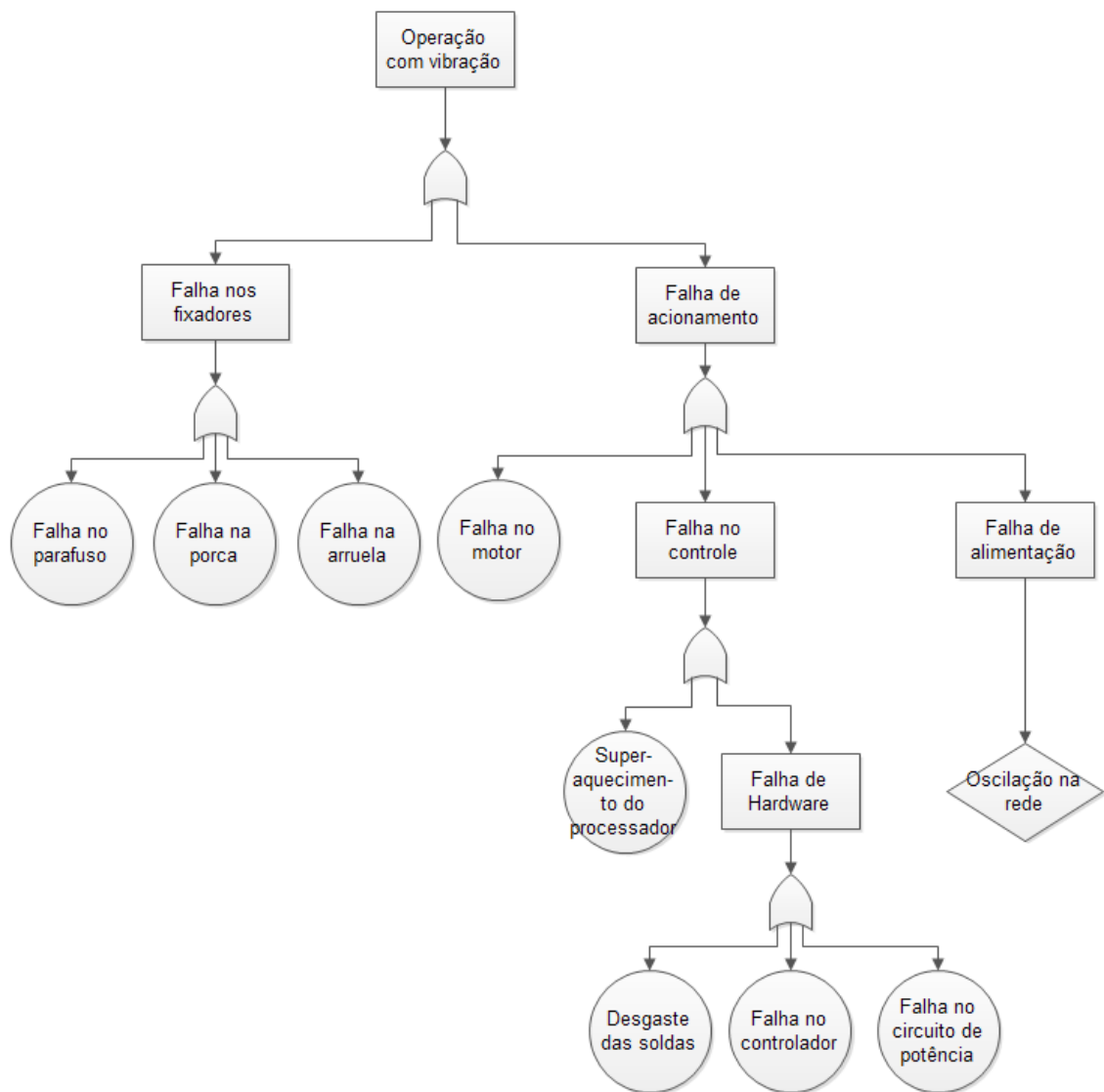




## A2: Árvore do modo de falha “Inoperância”



## A2: Árvore do modo de falha “Operação com vibração”





## Anexo A – Código Fonte da Programação em Arduino

A seguir encontra-se o código fonte utilizado na programação do protótipo da Reverse Vending Machine. As bibliotecas incluídas neste programa para a comunicação com o USB Shield podem ser encontradas em <http://www.circuitsathome.com/mcu/connecting-barcode-scanner-arduino-usb-host-shield>.

```
//210 revolucoes por volta!
#include <avr/pgmspace.h>
#include <LiquidCrystal.h>

#include <avrpins.h>
#include <max3421e.h>
#include <usbhost.h>
#include <usb_ch9.h>
#include <Usb.h>
#include <usbhub.h>
#include <avr/pgmspace.h>
#include <address.h>
#include <hidboot.h>

#include <printhex.h>
#include <message.h>
#include <hexdump.h>
#include <parsetools.h>

#define DISPLAY_WIDTH 16

// initialize the library with the numbers of the interface pins
LiquidCrystal lcd(32, 34, 36, 38, 40, 42);

// constants won't change. Used here to
const int SensorPin = 2;
const int ButtonPin = 3;
const int StepperPin1 = 22;      // the number of the StepperPin
const int StepperPin2 = 24;      // the number of the StepperPin
const int StepperPin3 = 26;      // the number of the StepperPin
const int StepperPin4 = 28;      // the number of the StepperPin

//CADASTRO DE CÓDIGO DE BARRAS: desconhecido=0/Aluminio=1/Vidro=2/PET=3
int cadastro [20] [14] = {
  {
    7,8,9,1,0,9,4,2,0,0,0,0,0,3  }
  ,
  {
    7,8,9,1,0,2,5,1,0,2,1,2,0,3  }
  ,
  {
    7,8,9,1,1,4,9,1,0,3,1,0,2,1  }
  , //Lata Skol 269mL
  {
    7,8,9,4,9,0,0,0,1,0,0,1,5,1  }
  , //Lata Coca Cola 350mL
  {
```

```

    7,8,9,4,9,0,0,5,3,0,0,0,1,2 }
, //PET crystal sem gas 500mL
{
    1,3,8,0,5,5,6,5,1,5,4,7,0,3 }
,
{
    8,0,0,2,2,7,0,0,1,5,9,9,1,2 }
,
{
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 }
,
{
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 }
,
{
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 }
,
{
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 }
,
{
    7,8,9,1,0,9,4,2,0,0,0,0,0,3 }
, //Caculinha Guarana 237mL
{
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 }
,
{
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 }
,
{
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 }
,
{
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 }
,
{
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 }
,
{
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 }
};

int erro [3] = {0,0,0}; //detecta erro na leitura para zerar o vetor cod

// Variables will change:
int SensorState = LOW;
int ButtonState = LOW;

//marcadores
int valido = 0; // marcador de digito lido valido
int achou=0;
int verdadeiro;
int material = 0;
int a = 0;
//vetor q armazena digitos do codigo de barras
int cod[13];

```

```

//contadores
int x;
int np1 =0; // step counter in state 1
int np2 =0; // step counter in state 2
int i_cod = 0;
int i;
int j;
//variaveis de tempo
int time = 5; // tempo do motor sem leitura
int timedelay = 60; // tempo do motor com leitura
int state1_exit = 0; //marcadores de saida de estado
int state2_exit = 0;
int interval = 0;
long t0;
long int t1;
// variaveis de configuracao de posicoes de descarte
int pos12 = 45;
int pos4 = 23;
int pos5 = 68;
int pos6 = 40;
int pos7 = 80;
int pos8 = 60;
int pos9 = 68;
//variaveis que armazenam quantidade de embalagens de cada tipo
int vidro = 0;
int pet = 0;
int aluminio = 0;

//A partir daqui até o ponto P1 são comandos q eu peguei direto do site q forneceu o
USB Shield
USB      Usb; //isso daqui tá fudendo a leitura
USBHub    Hub(&Usb);
HIDBoot<HID_PROTOCOL_KEYBOARD> Keyboard(&Usb);

class KbdRptParser :
public KeyboardReportParser
{
protected:
    virtual void OnKeyDown    (uint8_t mod, uint8_t key);
    virtual void OnKeyPressed(uint8_t key);
};

void KbdRptParser::OnKeyDown(uint8_t mod, uint8_t key)
{
    uint8_t c = OemToAscii(mod, key);

    if (c)
        OnKeyPressed(c);
}

void KbdRptParser::OnKeyPressed(uint8_t key)
{
    static uint32_t next_time = 0; //watchdog //WATCHDOG?? Q PORRA É ESSA VAMO
    PROCURAR DONDE VEM ESTA MERDA!
    a=key-48; //tira 48 do digito lido pelo leitor para
    ajustar enrte 0 e 9
    valido=1; //se entrou aqui é pq o digito lido eh valido,
    entao eu marco valido=1 para armazenar os digitos no vetor
};

KbdRptParser Prs;

```

```

//P1

void setup() {
    // definicao do motor de passo
    pinMode(StepperPin1, OUTPUT);      // initialize the StepperPin as an output
    pinMode(StepperPin2, OUTPUT);      // initialize the StepperPin as an output
    pinMode(StepperPin3, OUTPUT);      // initialize the StepperPin as an output
    pinMode(StepperPin4, OUTPUT);      // initialize the StepperPin as an output

    // set up the LCD's number of columns and rows:
    lcd.begin(16, 2);
    delay( 1000 );

    Serial.begin(9600);                // open the serial port at 9600 bps:
    Serial.println("Start");

    if (Usb.Init() == -1) {
        Serial.println("OSC did not start.");
    }
    delay( 200 );
    Keyboard.SetReportParser(0, (HIDReportParser*)&Prs); //nao sei ao certo o que faz
    delay( 200 );
}

void barcode(){
    //manter os println! eles fazem
    diferenca
    t1=millis();
    Serial.print(" ");                //algo relacionado com o tempo q se demora
    enviando esses sinais
    Usb.Task();
    Serial.print(" ");
    erro[0]=erro[1];
    erro[1]=erro[2];
    erro[2]=valido;
    if(erro[0]==1&&erro[1]==0&&erro[2]==0){    //se vier um valido e depois 2 nao
    validos, zera o vetor
        i_cod=0;
        Serial.print(" ");
    }
    if(a== -29)
    {
        Serial.println(" ");
        state1_exit = 1;
        state2_exit = 1;
        valido=0;
        i_cod=0;
        Serial.println("codigo:");
        for (j = 0; j < 13; j++){
            Serial.print(cod[j]);
        }
        Serial.print("");
        a=0;
    }
    if(valido==1)
    {
        Serial.print(" ");
        if(i_cod==0)                //se for o primeiro dígito, entao zera todos os
campos do vetor codigo
        {
            for(j=0;j<13;j++)
                cod[j]=0;
        }
    }
}

```

```

        cod[i_cod]=a;                                //armazena valor
        Serial.print(" ");
        i_cod++;
        valido=0;
    }
    t1=millis()-t1;
}

void horario(){                                       //dá um ciclo de passos na direcao
    horaria
    digitalWrite(StepperPin1, HIGH);
    digitalWrite(StepperPin2, LOW);
    digitalWrite(StepperPin3, LOW);
    digitalWrite(StepperPin4, LOW);
    delay(time);
    digitalWrite(StepperPin2, HIGH);
    delay(time);
    digitalWrite(StepperPin1, LOW);
    delay(time);
    digitalWrite(StepperPin3, HIGH);
    delay(time);
    digitalWrite(StepperPin2, LOW);
    delay(time);
    digitalWrite(StepperPin4, HIGH);
    delay(time);
    digitalWrite(StepperPin3, LOW);
    delay(time);
    digitalWrite(StepperPin1, HIGH);
    delay(time);
}

void antihorario(){                                   //dá um ciclo de passos na direcao
    antihoraria
    digitalWrite(StepperPin1, LOW);
    digitalWrite(StepperPin2, LOW);
    digitalWrite(StepperPin3, LOW);
    digitalWrite(StepperPin4, HIGH);
    delay(time);
    digitalWrite(StepperPin3, HIGH);
    delay(time);
    digitalWrite(StepperPin4, LOW);
    delay(time);
    digitalWrite(StepperPin2, HIGH);
    delay(time);
    digitalWrite(StepperPin3, LOW);
    delay(time);
    digitalWrite(StepperPin1, HIGH);
    delay(time);
    digitalWrite(StepperPin2, LOW);
    delay(time);
    digitalWrite(StepperPin4, HIGH);
    delay(time);
}

void state0(){
    aluminio=0;
    vidro=0;
    pet=0;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("      INSIRA");
    lcd.setCursor(0, 1);

```

```

    lcd.print("    EMBALAGEM");
    while(SensorState==LOW){                //espera o sensor reconhecer embalagem inserida
        SensorState = digitalRead(SensorPin);
    }
    delay(1000);
}

void state1(){                                //comeca a girar a embalagem e a tentar a ler
    int x1;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("    AGUARDE 0");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" RECONHECIMENTO");
    state1_exit=0;
    for(x1=0;x1<pos12&&state1_exit==0;x1++){
        digitalWrite(StepperPin1, HIGH);
        digitalWrite(StepperPin2, LOW);
        digitalWrite(StepperPin3, LOW);
        digitalWrite(StepperPin4, LOW);
        barcode();
        if(t1<timedelay)
            delay(timedelay-t1);
        digitalWrite(StepperPin2, HIGH);
        barcode();
        if(t1<timedelay)
            delay(timedelay-t1);
        digitalWrite(StepperPin1, LOW);
        barcode();
        if(t1<timedelay)
            delay(timedelay-t1);
        digitalWrite(StepperPin3, HIGH);
        barcode();
        if(t1<timedelay)
            delay(timedelay-t1);
        digitalWrite(StepperPin2, LOW);
        barcode();
        if(t1<timedelay)
            delay(timedelay-t1);
        digitalWrite(StepperPin4, HIGH);
        barcode();
        if(t1<timedelay)
            delay(timedelay-t1);
        digitalWrite(StepperPin3, LOW);
        barcode();
        if(t1<timedelay)
            delay(timedelay-t1);
        digitalWrite(StepperPin1, HIGH);
        barcode();
        if(t1<timedelay)
            delay(timedelay-t1);
    }
    np1=x1;
}

void state2(){                                //se no estado 1 nao conseguiu ler, tenta mais uma vez
    int x2;
    state2_exit=0;
    for(x2=0;x2<pos12&&state2_exit==0;x2++){
        digitalWrite(StepperPin1, LOW);
        digitalWrite(StepperPin2, LOW);
        digitalWrite(StepperPin3, LOW);

```

```

digitalWrite(StepperPin4, HIGH);
barcode();
if(t1<timedelay)
    delay(timedelay-t1);
digitalWrite(StepperPin3, HIGH);
barcode();
if(t1<timedelay)
    delay(timedelay-t1);
digitalWrite(StepperPin4, LOW);
barcode();
if(t1<timedelay)
    delay(timedelay-t1);
digitalWrite(StepperPin2, HIGH);
barcode();
if(t1<timedelay)
    delay(timedelay-t1);
digitalWrite(StepperPin3, LOW);
barcode();
if(t1<timedelay)
    delay(timedelay-t1);
digitalWrite(StepperPin1, HIGH);
barcode();
if(t1<timedelay)
    delay(timedelay-t1);
digitalWrite(StepperPin2, LOW);
barcode();
if(t1<timedelay)
    delay(timedelay-t1);
digitalWrite(StepperPin4, HIGH);
barcode();
if(t1<timedelay)
    delay(timedelay-t1);
}
np2=x2;
}

void state3 (){
//compara o codigo lido com os cadastrados
    achou=0;
    material = 0;
    for(i=0;i<20&&achou==0;i++){
        for(j=0,verdadeiro=1;j<13&&verdadeiro==1&&achou==0;j++){
            if(cod[j]==cadastro [i] [j]){
                verdadeiro = 1;
                if(j==12){
                    material = cadastro [i] [j+1];
                    achou = 1;
                }
            }
            else{
                verdadeiro = 0;
            }
        }
    }
    Serial.println(material);
    for(i=0;i<14;i++)
        cod [i]= 0;
    lcd.clear();
    if(material==0){
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("EMBALAGEM NAO A-");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("CEITA: RETIRE-A");
    }
}

```

```

    }
    if(material==1){
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("LATA DE ALUMINIO");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(" RECONHECIDA");
    }
    if(material==2){
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("GARRAFA DE VIDRO");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(" RECONHECIDA");
    }
    if(material==3){
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print(" GARRAFA DE PET");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(" RECONHECIDA");
    }
}

void state4 (){
    //a.h. 23
    if(np1<pos12){
        interval=pos4+np1;
    }
    else{
        interval=pos4+pos12-np2;
    }
    for(x=0;x<interval;x++){
        antihorario();
    }
    np2=0;
    np1=0;
}

void state5 (){
    //HORARIO 68
    if(np1<pos12){
        interval=pos5-np1;
    }
    else{
        interval=pos5-pos12+np2;
    }
    for(x=0;x<interval;x++){
        horario();
    }
    np2=0;
    np1=0;
}

void state6 (){ //giro anti horário //nao cadastrada
    for(x=0;x<pos6;x++){
        antihorario();
    }
}

void state7 (){
    // horário aluminio
    aluminio++;
    for(x=0;x<pos7;x++){
        horario();
    }
}

```



```

void state8 (){
    vidro++;
    for(x=0;x<pos8;x++){
        horario();
    }
}

void state9 (){ //giro anti horário // PET
    pet++;
    for(x=0;x<pos9;x++){
        antihorario();
    }
}

void state10 (){ //giro anti horário
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("TOTAL VIDRO:");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("ALUMINIO: PET:");
    lcd.setCursor(15, 0);
    if(vidro==0)
        lcd.print("-");
    else
        lcd.print(vidro);
    lcd.setCursor(9, 1);
    if(aluminio==0)
        lcd.print("-");
    else
        lcd.print(aluminio);
    lcd.setCursor(15, 1);
    if(pet==0)
        lcd.print("-");
    else
        lcd.print(pet);

    //retorna a posicao inicial
    if(material==0){
        interval=pos4+pos6;
        for(x=0;x<interval;x++){
            horario();
        }
    }
    if(material==1){
        interval=pos7-pos4;
        for(x=0;x<interval;x++){
            antihorario();
        }
    }
    if(material==2){
        interval=210-pos5-pos8;
        for(x=0;x<interval;x++){
            horario();
        }
    }
    delay(4000);
    digitalWrite(StepperPin1, LOW);
    digitalWrite(StepperPin2, LOW);
    digitalWrite(StepperPin3, LOW);
    digitalWrite(StepperPin4, LOW);
    //imprime
    lcd.clear();

```

```

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("PRESSIONE BOTAO");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" OU INSIRA NOVA");

    SensorState = digitalRead(SensorPin);
    ButtonState = digitalRead(ButtonPin);
    while(SensorState==LOW&&ButtonState==LOW){
        SensorState = digitalRead(SensorPin);
        ButtonState = digitalRead(ButtonPin);
    }
}

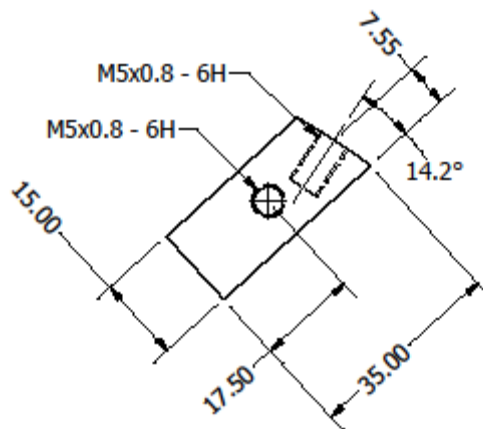
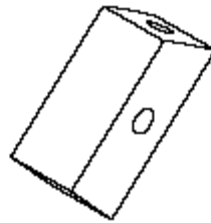
void state11 (){ //Imprime ou agradece o usuário
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" OBRIGADO PELA");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" COLABORACAO");
    delay(3500);
}

void loop(){
    Serial.println("-----loop");
    state0();
    while(SensorState==HIGH){
        state1();
        if(state1_exit==0)
            state2();
        state3();
        if(material==0||material==1){ //Aluminio ou Desconhecido
            state4(); //A.H 23
            if(material==0){ //desconhecido
                state6(); //A.H. 40 >>> A.H. 63
            }
            if(material==1){ //Aluminio
                state7(); //HORARIO 80 >> HORARIO 57
            }
        }
        if(material==2||material==3){ //PET ou Vidro
            state5(); //HORARIO 68
            if(material==2){ //Vidro
                state8(); //HORARIO 60 >> HORARIO 128
            }
            if(material==3){ //PET
                state9(); //A.H 68 >> HORARIO 8
            }
        }
        state10();
        if(ButtonState==HIGH)
            state11();
    }
}

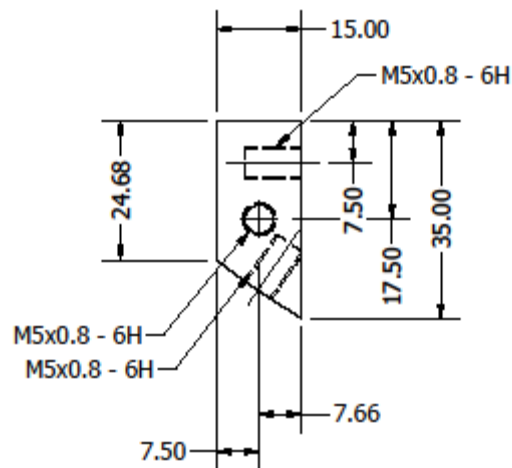
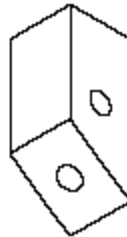
```

## **Anexo B – Desenho de Fabricação dos Principais Componentes**

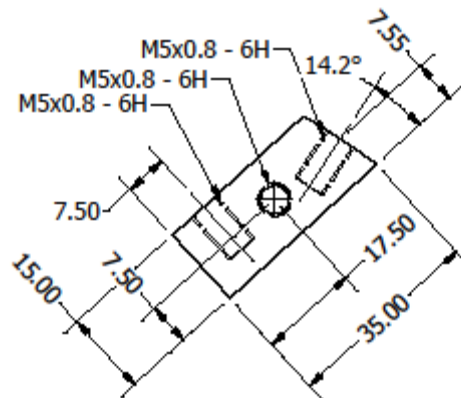
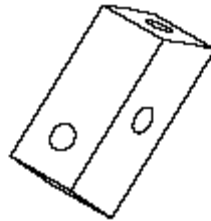
Nas páginas seguintes são apresentados os desenhos técnicos dos principais componentes deste projeto. Estes desenhos estão na escala do protótipo com fator de redução de 0,6.



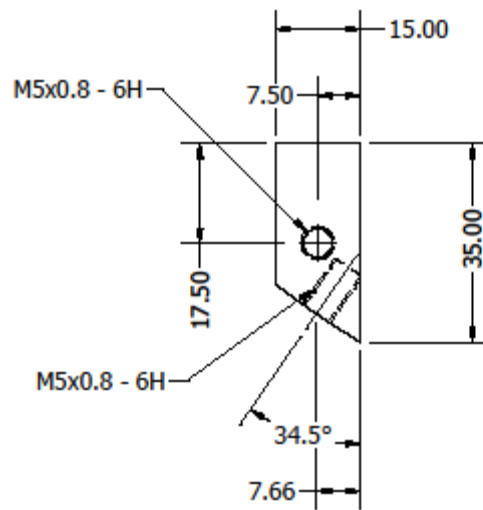
DRAWN	Uematsu	14/10/2012	TITLE		
CHECKED					
QA					
MFG					
APPROVED			<div>SIZE</div> <div>A4</div>		
			<div>DWG NO</div> <div>Junta_Inf_Dir</div>		REV
			<div>SCALE</div> <div></div>		<div>SHEET 1 OF 1</div>



DRAWN	Uematsu	14/10/2012	TITLE		
CHECKED					
QA					
MFG					
APPROVED			<div>SIZE</div> <div>A4</div>		
			<div>DWG NO</div> <div>Junta_Inf_Esq</div>		REV
			<div>SCALE</div> <div></div>		<div>SHEET 1 OF 1</div>



DRAWN	Uematsu	14/10/2012	TITLE		
CHECKED					
QA					
MFG					
APPROVED			<div>SIZE</div> <div>A4</div>		
			<div>DWG NO</div> <div>Junta_Sup_Dir</div>		REV
			<div>SCALE</div> <div></div>		<div>SHEET 1 OF 1</div>

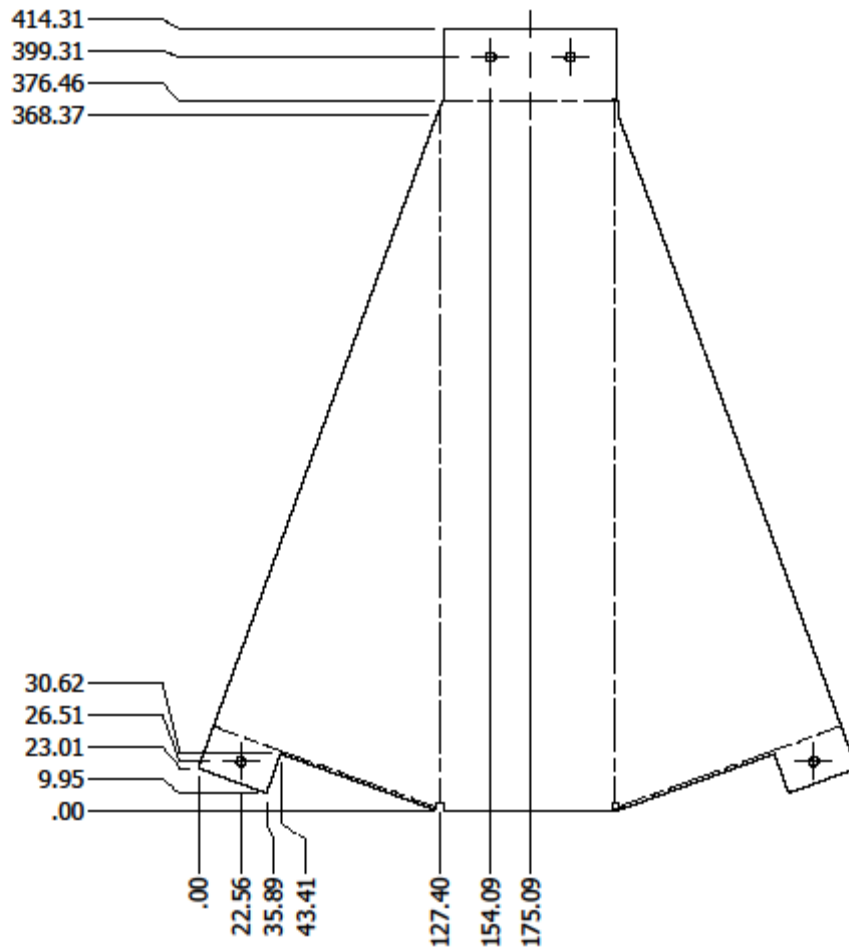


DRAWN	Uematsu	14/10/2012	TITLE		
CHECKED					
QA					
MFG					
APPROVED			<div>SIZE</div> <div>A4</div>		
			<div>DWG NO</div> <div>Junta_Sup_Esq</div>		REV
			<div>SCALE</div> <div></div>		<div>SHEET 1 OF 1</div>

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



DRAWN	Uematsu	28/10/2012	TITLE		
CHECKED					
QA					
MFG					
APPROVED			<div>SIZE</div> <div>A4</div>		
			<div>DWG NO</div> <div>Rampa_Devolucao</div>		<div>REV</div>
			<div>SCALE</div>		<div>SHEET 1 of 1</div>

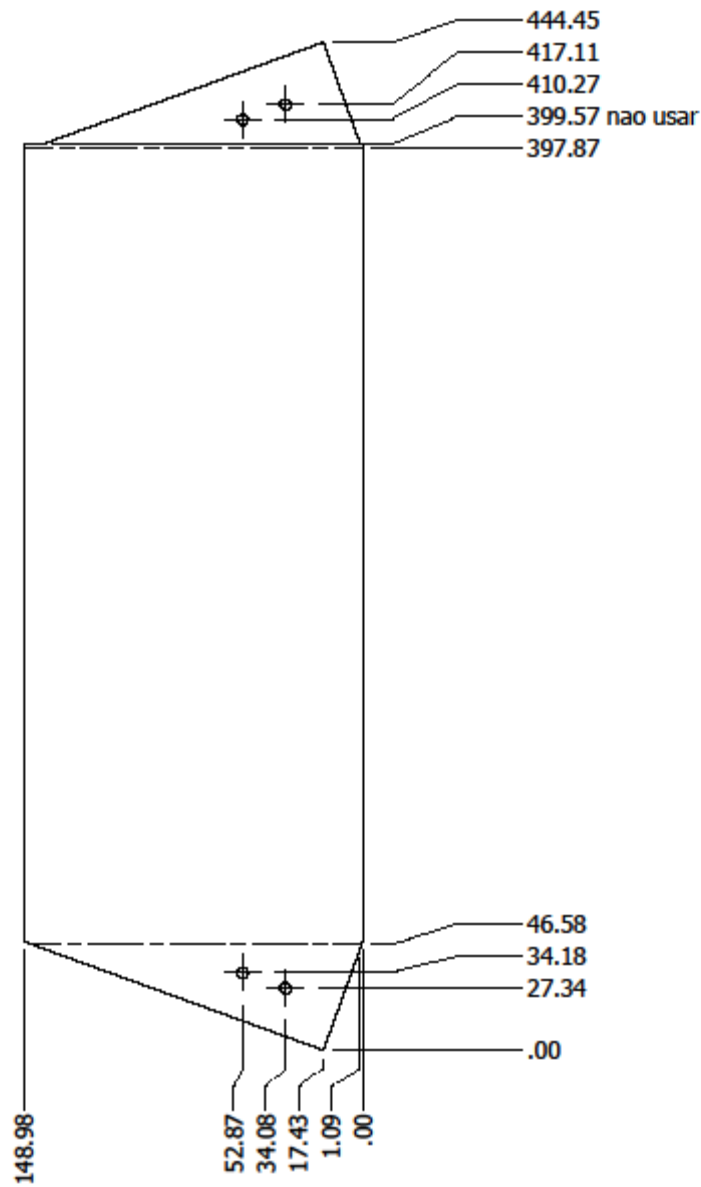
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



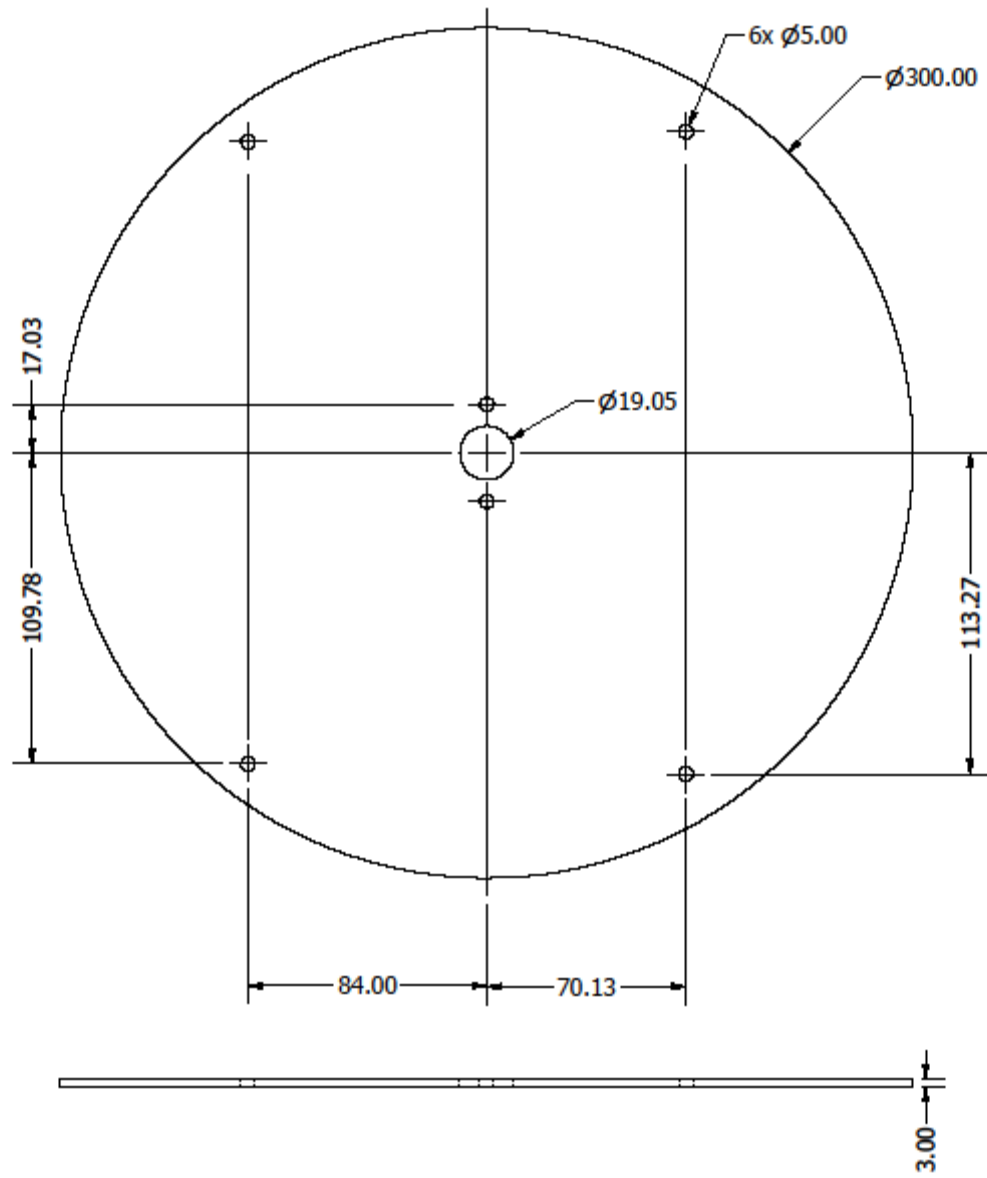
DRAWN	Uematsu	28/10/2012	TITLE		
CHECKED					
QA					
MFG					
APPROVED			Rampa_Material1		
			SIZE	DWG NO	REV
			A4		
			SCALE		
					SHEET 1 OF 1

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



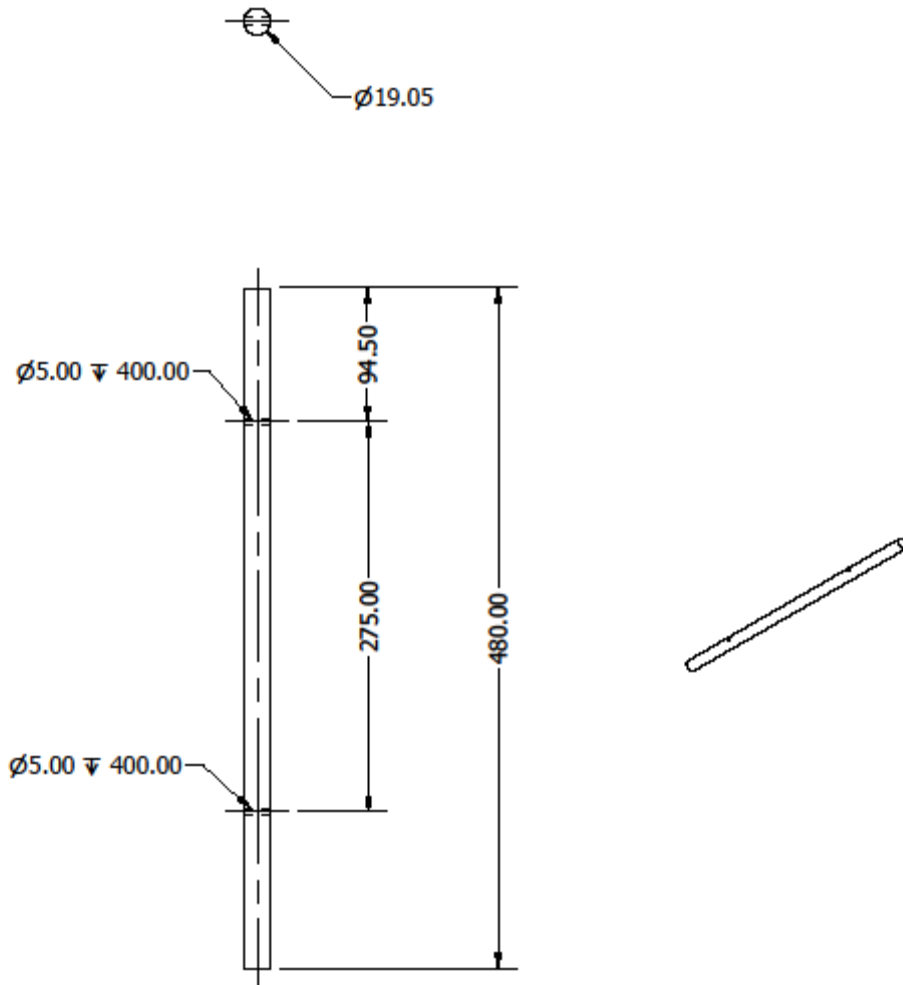
DRAWN	Uematsu	14/10/2012	TITLE		
CHECKED					
QA					
MPG					
APPROVED			SIZE		
			DWG NO		
			Tampa		
			SCALE		
			SHEET 1 OF 1		

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



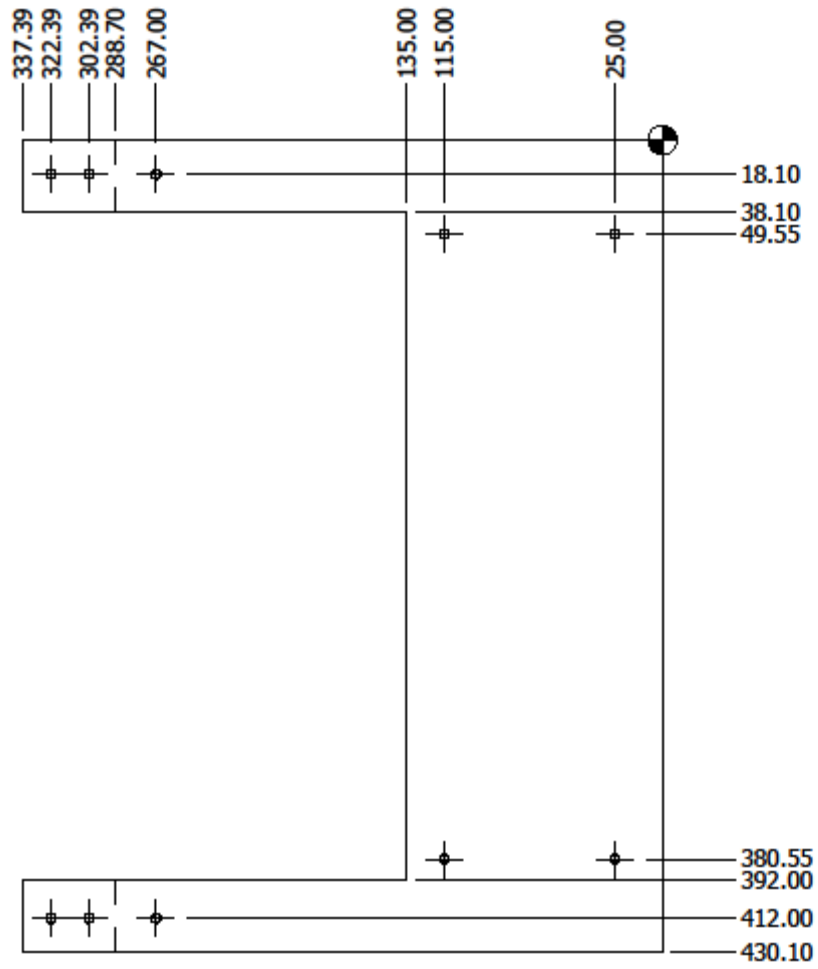
DRAWN	Uematsu	14/10/2012	TITLE		
CHECKED					
QA					
MFG					
APPROVED			SIZE		
			DWG NO		REV
			Eixo		
			SCALE		SHEET 1 OF 1

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

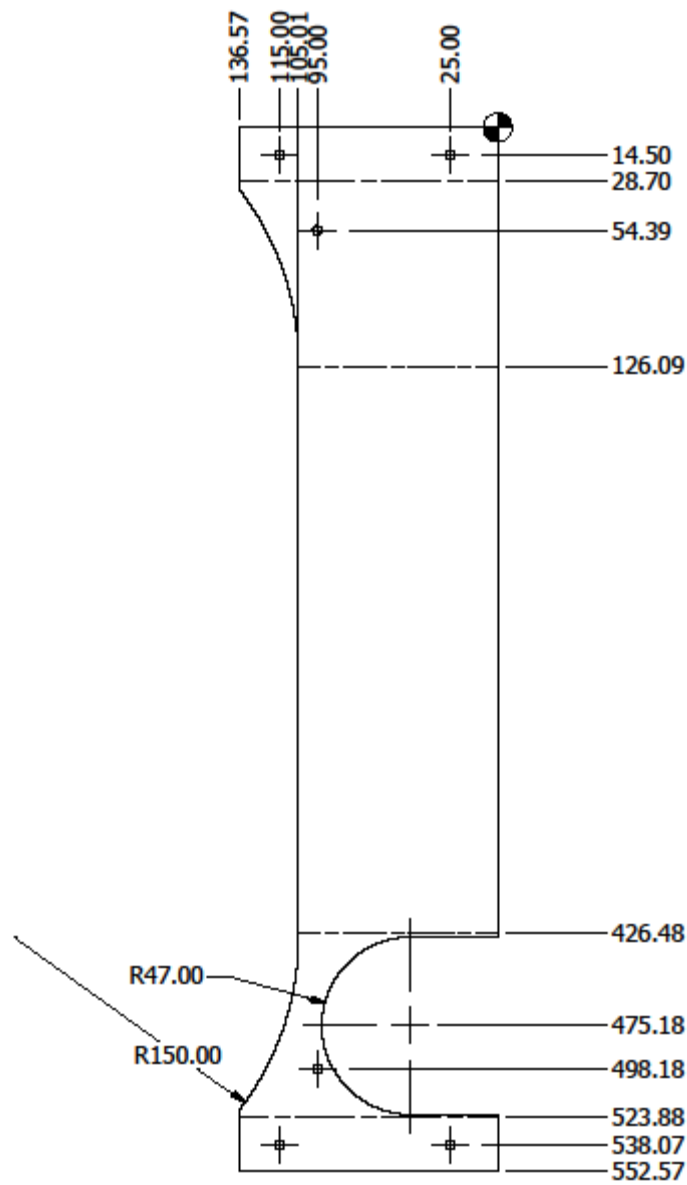


PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



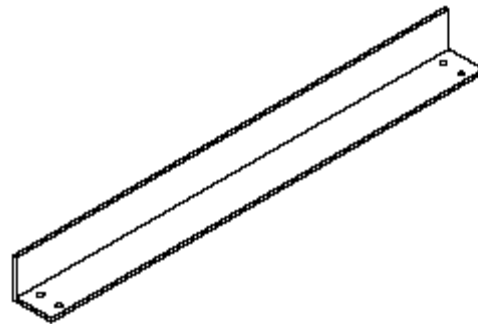
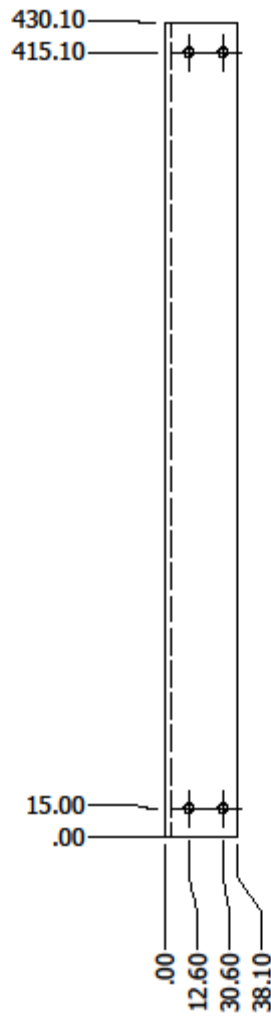
DRAWN	Uematsu	28/10/2012	TITLE		
CHECKED					
QA					
MFG					
APPROVED			<div>SIZE</div> <div>A4</div>		
			DWG NO		REV
			Encosto_Suporte_Pequeno-1		
			SCALE		SHEET 1 OF 1

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

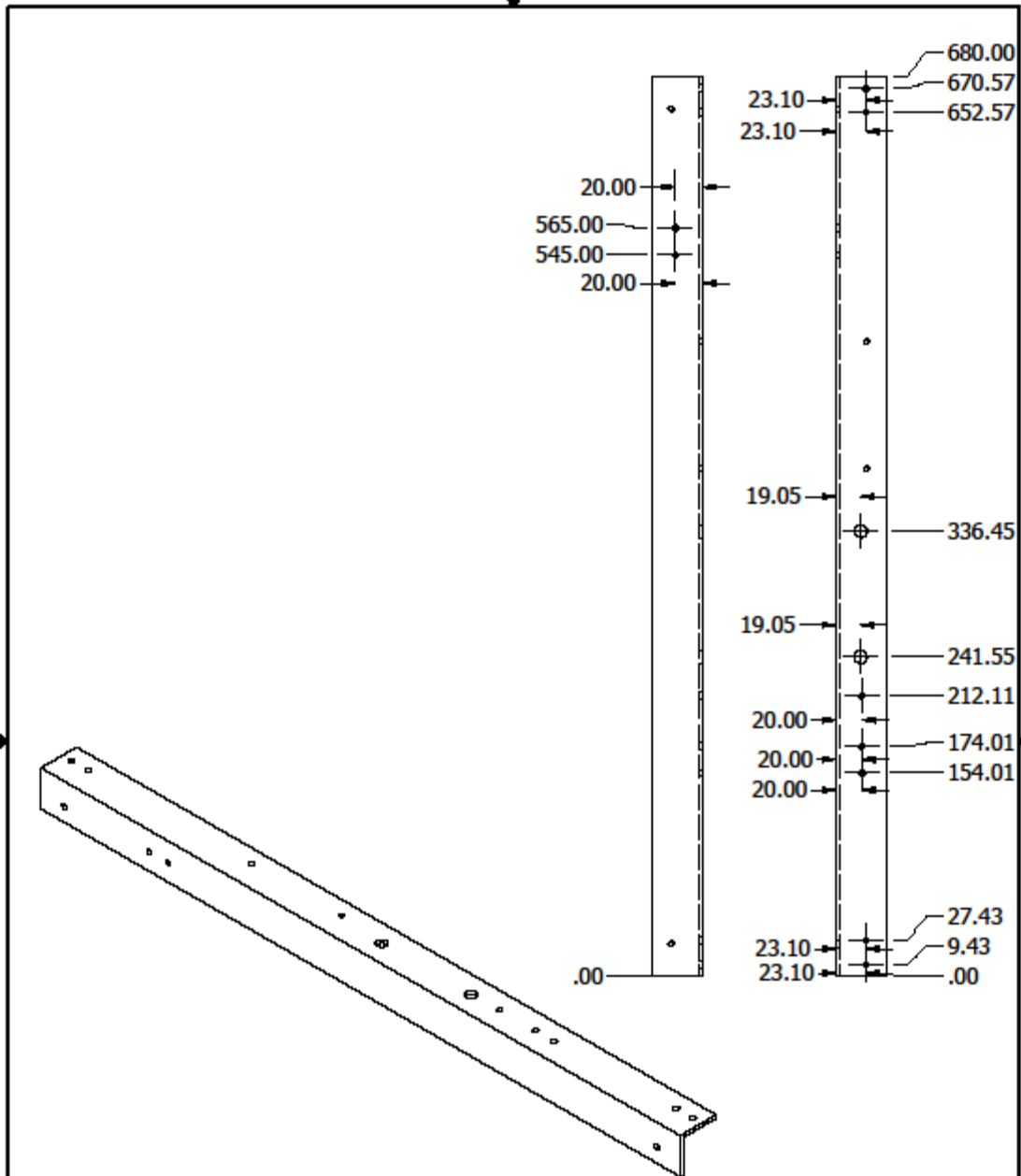


DRAWN	Uematsu	28/10/2012	TITLE		
CHECKED					
QA					
MFG					
APPROVED			<div>SIZE</div> <div>A4</div>		
			DWG NO		REV
			Estrutura_Suporte_Lateral		
			SCALE		SHEET 1 of 1

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

DRAWN	Uematsu	29/10/2012	TITLE		
CHECKED					
QA					
MFG					
APPROVED			<div>SIZE</div> <div>A4</div>		
			<div>DWG NO</div> <div>Estrutura_Suporte_Frontal</div>		<div>REV</div>
			<div>SCALE</div>		<div>SHEET 1 of 1</div>

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

## Referências

- [1] **Oportunidade que não se joga fora**. Revista VEJA. São Paulo, dezembro de 2011. Ano 44. Edição Especial Sustentabilidade. p.12
- [2] ROCKMANN, Roberto. **Modelo da Alemanha se espalha pelo mundo**. Valor Econômico. São Paulo, 25 de janeiro de 2011. Disponível em <<http://www.valor.com.br/arquivo/869185/modelo-da-alemanha-se-espalha-pelo-mundo>>. Acesso em: 15 maio 2012
- [3] Brasil. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Publicada no DOU de 3.8.2010.
- [4] ABIPET. **Associação Brasileira da Indústria do PET**. Sétimo Censo da Reciclagem do PET no Brasil. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarDownloads&categoria.id=3>>. Acesso em: 20 abr. 2012.
- [5] **Os desafios da era do lixo**. Revista VEJA. São Paulo, dezembro de 2011. Ano 44. Edição Especial Sustentabilidade. p.18-24
- [6] ABRE. **Associação Brasileira de Embalagem**. Disponível em: <<http://www.abre.org.br>>. Acesso em: 20 abr. 2012.
- [7] ABIVIDRO. **Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro**. Disponível em: <<http://www.abividro.org.br/index.php/25>>. Acesso em: 12 abr. 2012.
- [8] SCIARRETTA, Toni. **Indústria propõe reciclagem total de vidros no Brasil**. Folha de São Paulo, São Paulo, 01 de maio de 2011. Disponível em <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/909693-industria-propoe-reciclagem-total-de-vidros-no-brasil.shtml>>. Acesso em: 12 abr. 2012.
- [9] **A arte de recuperar latinhas em São Paulo**. Revista VEJA. São Paulo, dezembro de 2011. Ano 44. Edição Especial Sustentabilidade. p.28-31
- [10] **Reciclagem: Brasil**. ABAL. Associação Brasileira do Alumínio. Disponível em: <<http://www.abal.org.br/reciclagem/brasil.asp>>. Acesso em: 20 abr. 2012.



- [11] **Reciclagem: Porque reciclar?** ABAL. Associação Brasileira do Alumínio. Disponível em: <<http://www.abal.org.br/reciclagem/porque.asp>>. Acesso em: 20 abr. 2012.
- [12] **Norsk Resirk.** Disponível em: < <http://www.resirk.no/engelsk/introduction.aspx>>. Acesso em: 10 out. 2012.
- [13] **Container deposit legislation.** Wikipedia. Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Container\\_deposit\\_legislation](http://en.wikipedia.org/wiki/Container_deposit_legislation)>. Acesso em: 10 out. 2012.
- [14] **Returpack.** Disponível em: < <http://www.returpack.se/en/>>. Acesso em: 10.out. 2012
- [15] **Tomra Systems ASA.** Disponível em: <[http://www.reversevending.tomra.com/default.asp?V\\_SITE\\_ID=18](http://www.reversevending.tomra.com/default.asp?V_SITE_ID=18)>. Acesso em: 10 nov. 2012
- [16] **Trautwein SB Technik.** Disponível em: <<http://www.trautwein-sb.de/>>. Acesso em: 10 nov. 2012
- [17] **Wincor Nixdorf.** Disponível em: <[http://www.wincor-nixdorf.com/internet/site\\_EN/EN/Products/Hardware/Retail/ReverseVending/Node.html](http://www.wincor-nixdorf.com/internet/site_EN/EN/Products/Hardware/Retail/ReverseVending/Node.html)>. Acesso em: 10 nov. 2012
- [18] **Envipco.** Disponível em: <<http://www.envipco.com/>>. Acesso em: 10 nov. 2012
- [19] **Envirobank.** Disponível em: < <https://www.envirobank.com.au/>>. Acesso em: 10 nov. 2012
- [20] **reVend Reverse Vending Machines.** Disponível em: <<http://www.reversevending.co.uk/>>. Acesso em: 10 nov. 2012
- [21] **Repant.** Disponível em: < [http://www.repant.com/repant\\_cosmos/cms/42](http://www.repant.com/repant_cosmos/cms/42)>. Acesso em: 10 nov. 2012
- [21] **Estatura.** Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Estatura>>. Acesso em: 19 jun. 2012.
- [22] MANZINI, E; VELOZZI, C. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis.** EDUSP, São Paulo. 2002
- [23] Tomra Systems ASA. TANDBERG, R.H. **Reverse Vending Machine.** United States. US00DD422314S. Apr.4, 2000

- [24] Environmental Products Corporation. DEWOOLFSON, B.H. et al. **Single station reverse vending machine**. United States. US5355987A. Oct. 18, 1994
- [25] BOEHM, B., **A Spiral Model of Software Development and Enhancement**. ACM SIGSOFT Software Engineering Notes. ACM. 11(4):14-24. Agosto 1986
- [26] SOUZA, G. F. M., **PMR-5201 Análise de Confiabilidade Aplicada ao Projeto de Sistemas Mecânicos**. Apostila de disciplina de pós-graduação. 2003.
- [27] ATmega2560/V. **8-bit Atmel Microcontroller with 64K/128K/256K Bytes In-SystemProgrammable Flash**. DataSheet ATMEL. Disponível em: <<http://www.atmel.com/Images/doc2549.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2012
- [28] Y. T. Ana Carolina, **ECOS Estação de Coleta Seletiva**. UNESP, São Paulo, 2012.